Du und die Natur

Eine moderne Physik
für Jedermann

Von

Dr. Paul Karlson

Mit 165 Zeichnungen
von Wilhelm Petersen und 9 Tafel

Im Verlag Ullstein · Berlin

VORWORT

> Wir haben an den Gestaden des Unbekannten eine rätselhafte Fußspur entdeckt. Wir haben viel Mühe und Scharfsinn darauf verwandt, ihren Ursprung zu erkunden. Schließlich ist es uns gelungen, das Wesen zu rekonstruieren, von dem sie stammt: und siehe, es ist unsere eigene.
>
> A. S. Eddington

Immer haben wir Physiker uns bemüht, ein klares Bild von der Welt um uns herum zu gewinnen; dazu sind wir schließlich da, und wir hielten unsere Aufgabe für schwer, aber für lösbar. In der Ferne haben wir unser Ziel vor uns gesehen: die Welt, und begierig haben wir uns näher herangekämpft, bald rasch, bald auf Umwegen und durch Gestrüpp; wir haben unser Auge mit Brillen und starken Ferngläsern bewaffnet — und wir glaubten eine klare, sonnenüberglänzte Landschaft, mit Bäumen, Häusern und Maschinen zu erblicken. Jetzt stehen wir dicht davor, und schaudernd entdecken wir, daß all die vermeintliche Klarheit verschwunden ist. Vor farblosen, unbestimmten, ziehenden Nebelschwaden stehen wir, die um so mehr zerfließen, je näher wir herankommen. Ja, fast fürchten wir, daß die ganze belebte Landschaft vor uns, die wir einst zu sehen schienen, nur eine Täuschung war: Flecken auf unserer Brille. Das ist es, was man den Umsturz der Physik nennt, und hiervon soll in diesem Buch die Rede sein.

Aber ich denke, daß man schlecht von diesem Auflösungsprozeß reden kann, ohne vorher das Bild beschrieben zu haben, das sich auflöste. Der Laie unter Physikern gleicht dem Mann, der erst nach der Pause ins Theater kam. Die Tür öffnet sich, und auf der Bühne erscheint eine sonderbare Gestalt, sagen wir: das ‚positive Elektron' — beim bloßen Anblick dieses Wesens bricht hemmungsloses Gelächter los, die zuschauenden Physiker wollen sich ausschütten vor Vergnügen. Verwundert schaut sie der Laie an. Er

VORWORT

> Wir haben an den Gestaden des Unbekannten eine rätselhafte Fußspur entdeckt. Wir haben viel Mühe und Scharfsinn darauf verwandt, ihren Ursprung zu erkunden. Schließlich ist es uns gelungen, das Wesen zu rekonstruieren, von dem sie stammt: und siehe, es ist unsere eigene.
>
> A. S. Eddington

Immer haben wir Physiker uns bemüht, ein klares Bild von der Welt um uns herum zu gewinnen; dazu sind wir schließlich da, und wir hielten unsere Aufgabe für schwer, aber für lösbar. In der Ferne haben wir unser Ziel vor uns gesehen: die Welt, und begierig haben wir uns näher herangekämpft, bald rasch, bald auf Umwegen und durch Gestrüpp; wir haben unser Auge mit Brillen und starken Ferngläsern bewaffnet — und wir glaubten eine klare, sonnenüberglänzte Landschaft, mit Bäumen, Häusern und Maschinen zu erblicken. Jetzt stehen wir dicht davor, und schaudernd entdecken wir, daß all die vermeintliche Klarheit verschwunden ist. Vor farblosen, unbestimmten, ziehenden Nebelschwaden stehen wir, die um so mehr zerfließen, je näher wir herankommen. Ja, fast fürchten wir, daß die ganze belebte Landschaft vor uns, die wir einst zu sehen schienen, nur eine Täuschung war: Flecken auf unserer Brille. Das ist es, was man den Umsturz der Physik nennt, und hiervon soll in diesem Buch die Rede sein.

Aber ich denke, daß man schlecht von diesem Auflösungsprozeß reden kann, ohne vorher das Bild beschrieben zu haben, das sich auflöste. Der Laie unter Physikern gleicht dem Mann, der erst nach der Pause ins Theater kam. Die Tür öffnet sich, und auf der Bühne erscheint eine sonderbare Gestalt, sagen wir: das ‚positive Elektron' — beim bloßen Anblick dieses Wesens bricht hemmungsloses Gelächter los, die zuschauenden Physiker wollen sich ausschütten vor Vergnügen. Verwundert schaut sie der Laie an. Er

INHALTSÜBERSICHT

I. MATERIE

II. ELEKTRIZITÄT

sieht keinen Grund zur Heiterkeit — er kennt die Rolle nicht, die das positive Elektron spielte. Mit einem Wort: ihm fehlt der erste Akt.

Dabei ist gerade der erste Teil wichtig — der zweite ist mehr eine Privatvorstellung für Feinschmecker. So habe ich geglaubt, erst einmal vom ersten Teil berichten zu sollen, von der gewöhnlichen Physik, wie sie noch heute, außerhalb der physikalischen Laboratorien unumschränkt über Technik und Leben herrscht und immer herrschen wird. Davon zu berichten, was es mit der Elektrizität und dem Licht auf sich hat, was ein Atom ist und wie die Rundfunkwellen arbeiten — kurz, das Weltbild der Neuzeit hinzuzeichnen. Natürlich wollen wir den zweiten Teil des Dramas nicht vergessen — den Umsturz der Physik.

Davon habe ich erzählt, ganz ohne Mathematik, und so heiter und einfach wie es möglich war — genau so, wie ich es meinem Freunde Peter erzähle, der gar kein Verständnis für Physik hat. Die Dinge, um die es sich handelt, besitzen selbst Ernst und Würde genug — so können wir, denke ich, in der Darstellung darauf verzichten. „Physik", sagt Peter — „davon habe ich nie etwas verstanden!" Ich glaube nicht, daß der Fall damit erledigt sein sollte. Man sagt, daß manche Neger in Zentralafrika außerordentlich begabte Chausseure seien, obgleich sie vom Wesen des Autos herzlich wenig verstehen. Die Techniker und Physiker streben heute häufig dahin, den Nichtfachmann zum Neger zu degradieren und das Nachdenken über die inneren Vorgänge, sei es des Radioapparats, sei es des Weltbilds von heute, ihnen selbst zu überlassen. Dagegen heißt es sich wehren. Wir haben ein Recht darauf, wenigstens einigermaßen eingeweiht zu werden, und man braucht, glaube ich, nur ein wenig guten Willen dazu. Wir wollen nicht hinter geschlossenen Türen auf die nächste Überraschung warten.

Berlin, November 1934 — Paul Karlson

VI. DIE NEUEN IDEEN

*

*

Eine graphische Übersicht über die physikalischen Grundbegriffe zeigt die farbige Ausschlagtafel „Ein Führer durch die Physik" am Schluß des Buches

III. DIE WELLEN DES LICHTS

IV. RELATIVITÄTSTHEORIE

V. LICHTQUANTEN

I.

MATERIE

I.

MATERIE



BAUSTEINE DER WELT

Im Kegel- und Skatklub „In Treue Grün“ ging es hoch her. Zum vierzehnten Male hatte der Vorsitzende seinen rechten Nachbarn beim unverschämten „Frühstücken“ erwischt, und jetzt wurde es ihm zu bunt. „Dann können wir ja die Karten auch gleich auf den Tisch legen“, tobte er. „So ein unverschämter Lümmel! Aber jetzt ist Schluß — ich werde solche unerwünschten Elemente rücksichtslos ausschließen.“ Und er setzte sich nieder und knallte seinen Jungen auf den Tisch. „Ausschließen, solche unerwünschten Elemente.“ Es war ein Ausbruch von elementarer Gewalt, aber er verfehlte seinen Zweck. Die anderen Mitglieder waren nicht mehr in der Lage, den sittlichen Kern der Rede zu begreifen. „Ich bin kein unerwünschtes Element“, verteidigte sich der Schuldige, stark, wenn auch mit schwerer Zunge. „Nicht unerwünscht, und Element schon gar nicht.“ „Doch bist du ein Element, und was für eins!“ Die Worte schwirrten durch den niedrigen verqualmten Raum. „Feuer, Wasser, Erde, Luft“, sang einer in der Ecke, selig in sein schaukelndes Bierglas vertieft „Doch die Elemente hassen ...“ Eine hohe Stimme überschrie den Lärm: „Das geht nicht, meine Herren, geht nicht! Wir müssen erst feststellen, was überhaupt ein Element ...“

Aber der Rest ertrank im Geschrei und in Tabakrauch. Der Skatklub „In Treue Grün" wird nie erfahren, was ein Element ist.

Feuer, Wasser, Erde, Luft — das waren die Elemente der Alten; die Urstoffe, aus denen alle anderen Stoffe bestehen. Wir wissen heute, daß die Einteilung, die ja auch aus philosophischen und nicht physikalisch-chemischen Überlegungen entstand, unhaltbar ist — daß diese vier also keine Elemente in unserem Sinn sind. Ein Element — das ist ein Grundstoff, der sich durch kein chemisches Mittel weiter zerlegen läßt. Ein Beispiel: Im Wald wächst ein hoher, schlanker Tannenbaum. Er wird gefällt, bearbeitet, ein Tisch wird aus seinem Holz gezimmert, oder er kommt in die Fabrik und wird zu Zeitungspapier verarbeitet. Niemand erkennt im schön polierten Tisch oder in der Morgenzeitung die Tanne wieder; aber doch ist es immer noch dasselbe Holz. Wenn aber der Chemiker in seinem Laboratorium das Holz untersucht, ihm mit seinen Säuren, seinen Schmelztiegeln und Reagenzien zu Leibe rückt, so stellt er fest, daß es im wesentlichen drei Stoffe sind, die das Holz aufbauen: Kohlenstoff — derselbe Stoff, aus dem die Kohle im Bergwerk besteht; Sauerstoff — das zum Leben unentbehrliche Gas, und Wasserstoff — das leichteste Gas, das wir kennen, dasselbe, das den Zeppelin trägt. Diese drei, Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff, kann auch der geschickteste Chemiker nicht weiter zerlegen. Sie sind und bleiben einfach, nicht weiter zusammengesetzt; es sind Grundstoffe, Elemente.

Die vier Elemente der Alten haben diese chemische Feuerprobe nicht bestanden. Feuer ist, das wissen wir heute, überhaupt kein Stoff, nur Schall und Rauch. Die Erde ist stofflich genug — ein Gemenge von tausenderlei Stoffen und vielen, vielen Elementen. Die Luft ist ein Gemisch verschiedener Gase — Sauerstoff und Stickstoff in der Hauptsache. Und das Wasser schließlich ist eine Verbindung zweier uns schon bekannter Elemente — Sauerstoff und Wasserstoff. Die Einteilung der Alten, so schön und poetisch sie ist, wird also dankend abgelehnt.

Elemente, Moleküle, Atome

Zweiundneunzig Elemente hat die Chemie durch die Forschungsarbeit des 19. Jahrhunderts entdeckt. Zweiundneunzig, das ist eine ganze Menge gegen die ursprünglichen vier. Aber wir haben den Vorteil, daß es wirkliche Elemente, chemisch unzerlegbare, sind. Chemisch unzerlegbar — das ist aber nur eine Seite der Angelegenheit; auf andere Weise läßt sich ein Element durchaus noch weiter zerlegen. Ein Stück fette, glänzende Steinkohle kann ich zerbrechen und immer wieder zerbrechen. Das ist eine grob-mechanische Zerlegung. Jedes Kohlestückchen bleibt natürlich deswegen genau so einfach, genau so chemisch elementar wie vorher. Aber diese Bröckelei führt auf eine neue Frage: Wenn jetzt einer herkäme, mit einem scharfen Messer und einer Brille auf der Nase, und schnitzte von der Kohle kleine Späne ab, winzige Spänchen, schneidet sie wieder und immer wieder durch — stößt er da auf eine Grenze oder nicht? Selbst bei unendlich feinen Instrumenten? Demokrit sagte ja; und wir Physiker sagen heute auch ja.

Es ist Mode, in diesem Zusammenhang bei Demokrit anzufangen — bei dem alten griechischen Philosophen und Materialisten, der behauptete, alle Dinge der Welt bestünden aus letzten, kleinen, unzerlegbaren Teilen — den Atomen, so genannt, weil sie eben a-tomos, unteilbar wären. Er stellte sich also diese Bausteine als kleine starre Klötzchen vor, so wie etwa beim Anker-Steinbaukasten. Zudem sollte es verschiedene Arten von Atomen geben, dicke, dünne, runde, dreieckige. Den Geist leugnete Demokrit. Er glaubte, wie viele Forscher nach ihm, diese Hypothese nicht nötig zu haben.

Die menschliche Seele war ihm ein feiner, feuriger Stoff, aus den leichtesten, kugelförmigen Atomen bestehend. Und die Sinneswahrnehmungen wollte er als grob-materialistische Einflüsse der Außenwelt, als



Aber der Rest ertrank im Geschrei und in Tabakrauch. Der Skatklub „In Treue Grün" wird nie erfahren, was ein Element ist.

Feuer, Wasser, Erde, Luft — das waren die Elemente der Alten; die Urstoffe, aus denen alle anderen Stoffe bestehen. Wir wissen heute, daß die Einteilung, die ja auch aus philosophischen und nicht physikalisch-chemischen Überlegungen entstand, unhaltbar ist — daß diese vier also keine Elemente in unserem Sinn sind. Ein Element — das ist ein Grundstoff, der sich durch kein chemisches Mittel weiter zerlegen läßt. Ein Beispiel: Im Wald wächst ein hoher, schlanker Tannenbaum. Er wird gefällt, bearbeitet, ein Tisch wird aus seinem Holz gezimmert, oder er kommt in die Fabrik und wird zu Zeitungspapier verarbeitet. Niemand erkennt im schön polierten Tisch oder in der Morgenzeitung die Tanne wieder; aber doch ist es immer noch dasselbe Holz. Wenn aber der Chemiker in seinem Laboratorium das Holz untersucht, ihm mit seinen Säuren, seinen Schmelztiegeln und Reagenzien zu Leibe rückt, so stellt er fest, daß es im wesentlichen drei Stoffe sind, die das Holz aufbauen: Kohlenstoff — derselbe Stoff, aus dem die Kohle im Bergwerk besteht; Sauerstoff — das zum Leben unentbehrliche Gas, und Wasserstoff — das leichteste Gas, das wir kennen, dasselbe, das den Zeppelin trägt. Diese drei, Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff, kann auch der geschickteste Chemiker nicht weiter zerlegen. Sie sind und bleiben einfach, nicht weiter zusammengesetzt; so sind Grundstoffe, Elemente.

Die vier Elemente der Alten haben diese chemische Feuerprobe nicht bestanden. Feuer ist, das wissen wir heute, überhaupt kein Stoff, nur Schall und Rauch. Die Erde ist stofflich genug — ein Gemenge von tausenderlei Stoffen und vielen, vielen Elementen. Die Luft ist ein Gemisch verschiedener Gase — Sauerstoff und Stickstoff in der Hauptsache. Und das Wasser schließlich ist eine Verbindung zweier uns schon bekannter Elemente — Sauerstoff und Wasserstoff. Die Einteilung der Alten, so schön und poetisch sie ist, wird also dankend abgelehnt.

seinen beiden Bestandteilen aufbauen. Er brachte also ein Liter Wasserstoff und ein Liter Chlor zusammen in eine große Kugel — sie vereinigten sich unter energischem, explosionsartigem Knallen zu zwei Liter Chlorwasserstoff. Nahm er zwei Liter von jedem Gas, so war das Endergebnis vier Liter Chlorwasserstoff. Wenn er aber zwei Liter Wasserstoff und nur ein Liter Chlor zusammenbrachte — dann eben beobachtete er das Mauerblümchen; er erhielt zwei Liter Chlorwasserstoff, und das andere Liter Wasserstoff konnte sehen, wo es blieb. Es irrte verzweifelt und völlig allein in der Kugel umher — es blieb übrig!

Das ist selbstverständlich, meinte Dalton, der seinen Demokrit wohl studiert hatte, und rieb sich die Hände. „Es gibt Wasserstoff- und Chlor-Atome, nicht weiter zerlegbare Einheiten; bringe ich sie zusammen, so sucht sich jedes Wasserstoff-Atom irgendein Chlor-Atom aus, macht seine Verbeugung und beginnt, eng mit ihm zusammen weiter durch die Weltgeschichte zu walzen. Sie gehen also eine Ehe ein. Ein Wasserstoff-Atom aber, das kein Chlor-Atom mehr findet, weil schon alle weg sind — nun, das mag sehen, wo es bleibt. Mauerblümchen sind das, ewige Junggesellen. Ich werde diese Ehe ein Molekül nennen", beschloß Dalton. (Und wenn er es nicht tat, waren es seine Nachfolger.) Zwei Atome zusammen bilden ein Molekül; die Moleküle sind die kleinsten Bausteine des Chlorwasserstoffs.

Man sieht — mit der Atomtheorie von Demokrit läßt sich Daltons Versuch ohne weiteres erklären; aber ohne *sie ist er* schlechterdings unerklärlich. Wir können uns keine Zweifel am Ausgang der mühseligen Kohle-Schnitzerei mehr erlauben. Der Mann kommt schließlich an ein Ende, er findet die Bausteine der Kohle — er erhält die Moleküle in Reinkultur, genau wie einer, der ein großes Haus mit der Spitzhacke angreift, als Ergebnis seiner Bemühungen schließlich einen Haufen Ziegelsteine vor sich liegen hat. Also: jeder Stoff auf der Erde, am Himmel oder im Wasser besteht aus Molekülen, aus solchen Atom-Ehen, Mikroehen.

Wechselwirkung mit den Atomen, als die Stöße der durch die Sinnesorgane in den Körper gelangenden Atome erklären.

Demokrit war Philosoph. Die Physiker interessierte das Problem von einer anderen Seite. Dalton, ein englischer Forscher, kam 1802 auf Grund chemischer Untersuchungen wieder auf die Atomlehre zurück.

In unseren jüngeren Jahren blieb uns selten das Vergnügen der Tanzstunde vorenthalten; zwanzig junge Damen und entsprechend viel Jünglinge saßen sich sittsam auf Stühlen an den Längsseiten des großen hell erleuchteten Saales gegenüber. In eifrigem Gespräch die Damen; nervös die Krawatte zurechtzupfend oder lässig, mit Kennerblicken die Gegenfront abmusternd, die Herren. Und bei den ersten dröhnenden Takten auf dem Klavier erhob sich diese stolze Schar, überquerte unsicheren, steifen Schritts das endlose, glatte Parkett, machte ihre abgezirkelte Verbeugung, und die Paare begannen davonzuschweben — eins und zwei und drei und ... So war es, wenn alles glatt ging. Aber wenn einmal ein paar der Jungens fehlten, dann blieben notgedrungen eines oder mehrere der Mädchen sitzen — traurige Mauerblümchen.



Dalton blieb es vorbehalten, diese Mauerblümchen auch in der Chemie und Physik zu entdecken. Sein Versuch ist in den Grundzügen heute noch so einfach, daß er selbstverständlich erscheint: Jeder kennt die Salzsäure, eine stark ätzende Flüssigkeit. Es ist eine Lösung eines bestimmten Gases, Chlorwasserstoff, in Wasser. Dieses Gas Chlorwasserstoff läßt sich in die beiden Elemente — wieder zwei Gase — Chlor und Wasserstoff zerlegen. Dalton versuchte das Umgekehrte; er wollte Chlorwasserstoff neu aus

seinen beiden Bestandteilen aufbauen. Er brachte also ein Liter Wasserstoff und ein Liter Chlor zusammen in eine große Kugel — sie vereinigten sich unter energischem, explosionsartigem Knallen zu zwei Liter Chlorwasserstoff. Nahm er zwei Liter von jedem Gas, so war das Endergebnis vier Liter Chlorwasserstoff. Wenn er aber zwei Liter Wasserstoff und nur ein Liter Chlor zusammenbrachte — dann eben beobachtete er das Mauerblümchen; er erhielt zwei Liter Chlorwasserstoff, und das andere Liter Wasserstoff konnte sehen, wo es blieb. Es irrte verzweifelt und völlig allein in der Kugel umher — es blieb übrig!

Das ist selbstverständlich, meinte Dalton, der seinen Demokrit wohl studiert hatte, und rieb sich die Hände. „Es gibt Wasserstoff- und Chlor-Atome, nicht weiter zerlegbare Einheiten; bringe ich sie zusammen, so sucht sich jedes Wasserstoff-Atom irgendein Chlor-Atom aus, macht seine Verbeugung und beginnt, eng mit ihm zusammen weiter durch die Weltgeschichte zu walzen. Sie gehen also eine Ehe ein. Ein Wasserstoff-Atom aber, das kein Chlor-Atom mehr findet, weil schon alle weg sind — nun, das mag sehen, wo es bleibt. Mauerblümchen sind das, ewige Junggesellen. Ich werde diese Ehe ein Molekül nennen", beschloß Dalton. (Und wenn er es *nicht tat*, waren es seine Nachfolger.) Zwei Atome zusammen bilden ein Molekül; die Moleküle sind die kleinsten Bausteine des Chlorwasserstoffs.

Man sieht — mit der Atomtheorie von Demokrit läßt sich Daltons Versuch ohne weiteres erklären; aber ohne sie ist er schlechterdings unerklärlich. Wir können uns keine Zweifel am Ausgang der mühseligen Kohle-Schnitzerei mehr erlauben. Der Mann kommt schließlich an ein Ende, er findet die Bausteine der Kohle — er erhält die Moleküle in Reinkultur, genau wie einer, der ein großes Haus mit der Spitzhacke angreift, als Ergebnis seiner Bemühungen schließlich einen Haufen Ziegelsteine vor sich liegen hat. Also: jeder Stoff auf der Erde, am Himmel oder im Wasser besteht aus Molekülen, aus solchen Atom-Ehen, Mikroehen.

Wechselwirkung mit den Atomen, als die Stöße der durch die Sinnesorgane in den Körper gelangenden Atome erklären.

Demokrit war Philosoph. Die Physiker interessierte das Problem von einer anderen Seite. Dalton, ein englischer Forscher, kam 1802 auf Grund chemischer Untersuchungen wieder auf die Atomlehre zurück.

In unseren jüngeren Jahren blieb uns selten das Vergnügen der Tanzstunde vorenthalten; zwanzig junge Damen und entsprechend viel Jünglinge saßen sich sittsam auf Stühlen an den Längsseiten des großen hell erleuchteten Saales gegenüber. In eifrigem Gespräch die Damen; nervös die Krawatte zurecht-



zupfend oder lässig, mit Kennerblicken die Gegenfront abmusternd, die Herren. Und bei den ersten dröhnenden Takten auf dem Klavier erhob sich diese stolze Schar, überquerte unsicheren, steifen Schritts das endlose, glatte Parkett, machte ihre abgezirkelte Verbeugung, und die Paare begannen davonzuschweben — eins und zwei und drei und . . . So war es, wenn alles glatt ging. Aber wenn einmal ein paar der Jungens fehlten, dann blieben notgedrungen eines oder mehrere der Mädchen sitzen — traurige Mauerblümchen.

Dalton blieb es vorbehalten, diese Mauerblümchen auch in der Chemie und Physik zu entdecken. Sein Versuch ist in den Grundzügen heute noch so einfach, daß er selbstverständlich erscheint: Jeder kennt die Salzsäure, eine stark ätzende Flüssigkeit. Es ist eine Lösung eines bestimmten Gases, Chlorwasserstoff, in Wasser. Dieses Gas Chlorwasserstoff läßt sich in die beiden Elemente — wieder zwei Gase — Chlor und Wasserstoff zerlegen. Dalton versuchte das Umgekehrte; er wollte Chlorwasserstoff neu aus

bestehen aus untereinander gleichen, voneinander ununterscheidbaren Atomen. Treten verschiedene Atome zusammen, so haben wir eine Verbindung von Elementen. Etwa zwei Millionen solcher Verbindungen kennt die Chemie. Zweiundneunzig Elemente bauen sie alle auf — zweiundneunzig, von denen aber höchstens zwanzig eine wesentliche Rolle beim Aufbau der Welt spielen. Die anderen scheint die Natur mehr der wissenschaftlichen Systematik wegen erschaffen zu haben.

Aufbau

Es gibt zwei Wege, eine Uhr auseinanderzunehmen: den des Uhrmachers und den eines neugierigen Kindes, das sich ohne viel Überlegung über sein Opfer hermacht, um zu erforschen, „was drinnen ist". Sie haben beide als Resultat ihrer Bemühungen einen Haufen Zahnräder, Schrauben und kleiner Zapfen vor sich liegen. Das Kind freilich weiß nur, daß alles einmal zusammengehörte und „ging", der Uhrmacher aber versteht den Sinn des Ganzen, er weiß, wie alles zusammengehört und an welcher Stelle jedes Zahnrad sitzen muß, damit es seine Aufgabe erfüllt.

Der Messer-Mann, der das Stückchen Kohle zerschnitzte, gleicht dem Kinde, er hatte nachher einen wüsten Haufen Moleküle vor sich liegen; er wußte, woraus die Welt bestand, „was drinnen war" — eben Moleküle. Aber jede Wissenschaft überwindet einmal diesen Kinderzustand und fragt nach den Gesetzen des Aufbaus.

So kam auch für die Chemie die Zeit, zu untersuchen, auf welche Weise sich die *Atome* zu *Molekülen* ordnen. Da fand man beispielsweise die *Kettenmoleküle* vieler organischer Verbindungen, bei denen sich Atom an Atom zu einer langen, dünnen Kette reiht, die in der Längsrichtung ganz erstaunliche Dimensionen annehmen kann — immer in molekularen Größenordnungen gerechnet, oder das räumliche ‚Pyramiden-Modell' der Kohlenstoff-Verbindungen, das wir dem großen Chemiker van't Hoff verdanken, und bei dem die Atome in den Ecken und im Mittelpunkt einer Pyramide sitzen.

Auch der Wasserstoff besteht aus Molekülen; sie sind aus zwei Atomen Wasserstoff zusammengesetzt. Bloß nicht immer leben die Atome so streng monogam wie beim Chlorwasserstoff. Es gibt Ehen zu dritt — wirklich sehr häufig. Wasser ist so ein Fall. Ein Sauerstoff- und zwei Wasserstoffatome haben sich die Hände gegeben und tanzen nun vereint durchs Leben. Wenn man die beiden Drähte am +- und —-Pol eines Akkumulators in ein Glas Wasser taucht, so steigen kleine Gasblasen an den Drähten auf. Das Wasser wird durch den Strom in seine Elemente zerlegt. Am negativen Pol ist die Gasbildung doppelt so stark wie am positiven, und wir erkennen mit Vergnügen, daß hier eine Ehe zu dritt vorliegt und darum bei der Trennung immer auf einen Mann (Sauerstoff) zwei schuldlos geschiedene Frauen (Wasserstoff) kommen. Aber Wasser gehört noch zu den einfachsten Fällen. Es gibt ganze Atomgesellschaften, die sich zu einem Molekül zusammengeschlossen haben, zu einer Atom-G.m.b.H. Zucker z. B. hat vierundzwanzig Gesellschafter. Und gar unter den Eiweißstoffen des menschlichen Körpers finden wir Riesenmoleküle, die aus Hunderten, vielleicht Tausenden von Atomen bestehen. Mikro-Vereine, beinahe schon im Mikroskop sichtbar. Dann allerdings gibt es einige wenige hartgesottene Einzelgänger — traurige Junggesellen, die ständig allein bleiben. Zu ihnen gehören die Metalldämpfe und die sonderbaren ‚Edelgase' (Helium, Neon, das in den Leuchtröhren mit einem prächtigen warmen Rot brennt, aber trotzdem kalt und spröde ist, Argon usw.). Sie ziehen die ‚splendid isolation' vor; ein-atomig heißen sie; jedes Molekül besteht nur aus einem einzigen Atom, bei ihnen ist also kein sinnvoller Unterschied zwischen Atom und Molekül mehr.

Die Gliederung ist klar: Jeder Stoff auf der Erde besteht aus Molekülen, aus kleinen Bausteinen. In der überwiegenden Mehrzahl — mit Ausnahme der oben erwähnten Edelgase und Metalldämpfe — sind die Moleküle wieder zusammengesetzt aus vielen oder wenigen Atomen. Die Moleküle eines chemischen Elements

bestehen aus untereinander gleichen, voneinander ununterscheidbaren Atomen. Treten verschiedene Atome zusammen, so haben wir eine Verbindung von Elementen. Etwa zwei Millionen solcher Verbindungen kennt die Chemie. Zweiundneunzig Elemente bauen sie alle auf — zweiundneunzig, von denen aber höchstens zwanzig eine wesentliche Rolle beim Aufbau der Welt spielen. Die anderen scheint die Natur mehr der wissenschaftlichen Systematik wegen erschaffen zu haben.

Aufbau

Es gibt zwei Wege, eine Uhr auseinanderzunehmen: den des Uhrmachers und den eines neugierigen Kindes, das sich ohne viel Überlegung über sein Opfer hermacht, um zu erforschen, „was drinnen ist“. Sie haben beide als Resultat ihrer Bemühungen einen Haufen Zahnräder, Schrauben und kleiner Zapfen vor sich liegen. Das Kind freilich weiß nur, daß alles einmal zusammengehörte und „ging“, der Uhrmacher aber versteht den Sinn des Ganzen, er weiß, wie alles zusammengehört und an welcher Stelle jedes Zahnrad sitzen muß, damit es seine Aufgabe erfüllt.

Der Messer-Mann, der das Stückchen Kohle zerschnitzte, gleicht dem Kinde, er hatte nachher einen wüsten Haufen Moleküle vor sich liegen; er wußte, woraus die Welt bestand, „was drinnen war“ — eben Moleküle. Aber jede Wissenschaft überwindet einmal diesen Kinderzustand und fragt nach den Gesetzen des Aufbaus.

So kam auch für die Chemie die Zeit, zu untersuchen, auf welche Weise sich die Atome zu Molekülen ordnen. Da fand man beispielsweise die Kettenmoleküle vieler organischer Verbindungen, bei denen sich Atom an Atom zu einer langen, dünnen Kette reiht, die in der Längsrichtung ganz erstaunliche Dimensionen annehmen kann — immer in molekularen Größenordnungen gerechnet, oder das räumliche ‚Pyramiden-Modell‘ der Kohlenstoff-Verbindungen, das wir dem großen Chemiker van't Hoff verdanken, und bei dem die Atome in den Ecken und im Mittelpunkt einer Pyramide sitzen.

Man kann auch nach dem Aufbau der nächsten Einheit fragen — nach der gegenseitigen Bindung der Moleküle und ihrer Anordnung nebeneinander in den Stoffen. Dabei müssen wir aber die drei „Aggregat-Zustände' der Materie unterscheiden, ihre drei Formen: gasförmig, flüssig und fest.

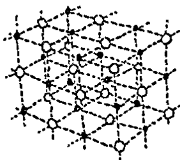
Gase. In der Sprache der Behörden würde hier stehen: „Fehlanzeige". In Gasen ist von irgendwelcher Bindung keine Rede. Es herrscht krasser, anarchischer Individualismus. Wie Mücken eines Mückenschwarms, so schwirren die Gasmoleküle rasch und regellos durcheinander. Ein wüstes Chaos, ein abschreckendes Bild für den formenhungrigen Geist.

Flüssigkeiten. Das Gas hat sich verdichtet — denken Sie daran, wie sich der Wasserdampf der Luft erst zu Wolken — kleinen Nebeltröpfchen und schließlich zu großen Regentropfen zusammenfindet. Nun liegen die Moleküle nebeneinander und wirken mittels elektrischer Kräfte aufeinander. Aber noch sind die Kräfte nicht stark genug, daß es zu einer bleibenden Form kommen könnte. Äußere Kräfte — Druck, Schwerkraft — können fast ohne Widerstand verformend einwirken. Das Wasser weicht bereitwillig zur Seite, wenn ich einen Bleistift oder die Hand hineinstecke. Zwar, die Moleküle liegen dicht nebeneinander; man merkt es daran, daß Flüssigkeiten praktisch unzusammendrückbar sind, inkompressibel, daß man sie in einer hydraulischen Presse ganz gewaltige Lasten aufnehmen lassen kann. Die Flüssigkeit gleicht einer dicht gedrängten Menschenmenge oder einer Schüssel voll Erbsen, in der sich immer noch jedes Einzelindividuum gegen den Nachbarn verschieben kann. Aus der Oberfläche reißen sich ständig einzelne Moleküle los und entweichen in den freien Raum: die Flüssigkeit verdunstet.

Feste Stoffe. Hier endlich gelingt es, die unruhigen Geister unter ein einheitliches Gesetz zu zwingen; jeden an seinen Platz zu stellen, in harmonischer, regelmäßiger Anordnung. Die Form kristallisiert sich heraus.

Wir wollen das Steinsalz, als simpelsten Vertreter der Gattung, herausgreifen. Dieses Salz ist in der Sprache der Chemie Natriumchlorid — eine Verbindung zwischen dem Gas Chlor und dem Metall Natrium; man sieht, was bei einer Verbindung alles herauskommen kann.

Bemerkenswerterweise sind im Steinsalz die einzelnen Atome nicht mehr zu Molekülen vereinigt. Man kann nicht von einem Steinsalzmolekül sprechen. Die Atome liegen nebeneinander, immer ein Chlor- neben einem Natriumatom in regelmäßigem Abstand, zu einem Würfel angeordnet. Nur durch ihre gegenseitigen Spannungen erhält sich das ganze System im Gleichgewicht, so daß jedes Atom nur noch geringe Schwingungen um seinen Ort ausführen kann. Ein solches Gitterwerk von Atomen nennen wir einen Kristall.



Der Steinsalzkristall hat das einfachste Gitter. Es gibt viele andere, teilweise unheimlich komplizierte Formen. Allen gemeinsam aber ist immer dies. die Bausteine sitzen in einer regelmäßigen Gitterordnung gefangen und können nur geringe Pendelbewegungen um ihren Stammplatz ausführen. Erhitzt man den Kristall, so werden die Schwingungen immer energischer, und schließlich bricht — bei einer ganz genau bestimmten Temperatur — das Kristallgefüge zusammen — die Bausteine werden frei. Der Kristall ist geschmolzen!

Jeder feste Stoff ist in dieser Weise symmetrisch aufgebaut. Freilich, nicht bei jedem ist dieser Aufbau bis ins Große nach ein und demselben Plan folgerichtig durchgeführt wie bei den gewöhnlich Kristall genannten Stoffen, Quarz, Diamant etwa. Bei den meisten Stoffen, Metallen, Steinen usw., wird der Bau immer

wieder unterbrochen und neu begonnen. So liegen denn kleine, abgetrennte Gebiete, ‚Kristallite', unregelmäßig durcheinander. Auf diese Weise verwischt sich die Kristallstruktur und taucht erst bei genauer wissenschaftlicher Prüfung wieder auf.

Nur die Gläser bilden eine unrühmliche Ausnahme. Im Glas *ist von einer Kristallstruktur keine Rede.* Das Glas hat keinen bestimmten, genau festliegenden Schmelzpunkt; es wird langsam weich und schließlich flüssig. Und so zuckt die Wissenschaft die Achseln und sagt verächtlich: Das Glas ist gar kein fester Körper — es ist eine Flüssigkeit.

Das Verbrecheralbum der Chemie

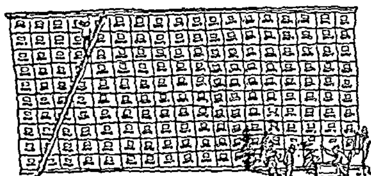
Zweiundneunzig Elemente — zweiundneunzig Grundmoleküle also, oder, was wichtiger ist, zweiundneunzig Atomsorten gibt es, aus denen sich die Millionen Verbindungen dieser Welt aufbauen. Demokrit hätte heute Grund zur Verwunderung.

Zweiundneunzig — das sind weniger als ein paar Millionen. Dennoch hat der Gedanke *etwas* Unbefriedigendes, daß nun diese *zweiundneunzig so kühl nebeneinander stehen sollen.* Warum gibt es nicht mehr oder weniger, warum nicht sechsundneunzig oder nur zwei? *Und gibt es nicht noch einen engeren Zusammenhang* zwischen einzelnen dieser vielen verschiedenen Atome?

In jedem Polizeipräsidium der großen Städte gibt es einen großen Raum, in dem längs der Wände glatte, schmucklose Schränke stehen; Schubkästen sind darin, mit Buchstaben und Namen an ihrer Vorderseite: A — Ahrens fängt es zum Beispiel an und endet bei Xan—Zyskow. Diese Kartothek ist das Verbrecher-Album. Jeder Sterbliche, der einmal in der Auslegung der Gesetze von der herrschenden Meinung abgewichen ist, steht dort *auf einem besonderen* Blatt verzeichnet. Drei hübsche Photographien zieren den Kopf der Seite, dann folgen die persönlichen Daten, Größe, Haarfarbe *und zuletzt die Fingerabdrücke.* Und

wenn irgendwo irgend jemand irgend etwas ausgefressen hat, so wird er nach seinen Daten mit diesen Kartothekblättern verglichen und wenn möglich dort identifiziert. Es gibt dann ein paar Jahre mehr, wenn es sich um einen wohlbekannten schweren Jungen „im Rückfall" handelt.

Auch die Chemie hat sich seit langem eine derartige Kartothek zugelegt. Sie betitelt sie: Periodisches System der Elemente.



Sämtliche zweiundneunzig Elemente dieser Welt — und der große Vorteil, den die Chemie der Kriminalpolizei gegenüber hat, ist eben der, daß es außer diesen zweiundneunzig keine weiteren, unerwünschten Elemente zu geben scheint — stehen dort säuberlich geordnet. Nach ihrem Gewicht, ihrer Farbe, ihrem chemischen und sonstigen Verhalten sind sie in eine große Tabelle eingereiht. Der Gedanke stammt von dem Deutschen Lothar Meyer und von Dimitrij Mendelejeff aus Rußland, die beide gleichzeitig 1869 diese General-Einordnung vorgenommen haben.

Der leitende Gesichtspunkt war zunächst das Gewicht. An die Spitze ihrer Tabelle stellten sie also den Wasserstoff, den leichtesten Stoff, den wir kennen — nach heutigen Anschauungen der leichteste, den es überhaupt geben kann Dann folgt das Edelgas Helium; Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff folgen. Das schwerste Element schließt die Reihe: Uran, ein Metall, das in der böhmischen

wieder unterbrochen und neu begonnen. So liegen denn kleine, abgetrennte Gebiete, ‚Kristallite', unregelmäßig durcheinander. Auf diese Weise verwischt sich die Kristallstruktur und taucht erst bei genauer wissenschaftlicher Prüfung wieder auf.

Nur die Gläser bilden eine unrühmliche Ausnahme. Im Glas ist von einer Kristallstruktur keine Rede. Das Glas hat keinen bestimmten, genau festliegenden Schmelzpunkt; es wird langsam weich und schließlich flüssig. Und so zuckt die Wissenschaft die Achseln und sagt verächtlich: Das Glas ist gar kein fester Körper — es ist eine Flüssigkeit.

Das Verbrecheralbum der Chemie

Zweiundneunzig Elemente — zweiundneunzig Grundmoleküle also, oder, was wichtiger ist, zweiundneunzig Atomsorten gibt es, aus denen sich die Millionen Verbindungen dieser Welt aufbauen. Demokrit hätte heute Grund zur Verwunderung.

Zweiundneunzig — das sind weniger als ein paar Millionen. Dennoch hat der Gedanke etwas Unbefriedigendes, daß nun diese zweiundneunzig so kühl nebeneinander stehen sollen. Warum gibt es nicht mehr oder weniger, warum nicht sechsundneunzig oder nur zwei? Und gibt es nicht noch einen engeren Zusammenhang zwischen einzelnen dieser vielen verschiedenen Atome?

In jedem Polizeipräsidium der großen Städte gibt es einen großen Raum, in dem längs der Wände glatte, schmucklose Schränke stehen; Schubkästen sind darin, mit Buchstaben und Namen an ihrer Vorderseite: A — Ahrens fängt es zum Beispiel an und endet bei Xan—Zyskow. Diese Kartothek ist das Verbrecher-Album. Jeder Sterbliche, der einmal in der Auslegung der Gesetze von der herrschenden Meinung abgewichen ist, steht dort auf einem besonderen Blatt verzeichnet. Drei hübsche Photographien zieren den Kopf der Seite, dann folgen die persönlichen Daten, Größe, Haarfarbe und zuletzt die Fingerabdrücke. Und

Pechblende gefunden wird. Es zeigen sich nun bei dieser simplen Aufreihung, die genau so erfolgte, als wenn ein Kind bunte Holzperlen der Größe nach auf eine Schnur aufzieht, überraschende Gesetzmäßigkeiten — so als wäre bei dieser Aufreihung der Größe nach z. B. jede achte Perle rot, die nächste immer grün, dann käme eine schwarze, eine gelbe, eine blaue, eine weiße, eine orange, eine lila und hiernach wieder eine rote, eine grüne und so fort. Jeder, der eine solche Perlenkette sieht, muß notwendigerweise auf den Gedanken kommen, daß sie bewußt und gesetzmäßig in dieser Farbenfolge aufgezogen wurde. Und doch war das einzige Gesetz, das das Kind befolgt hat, die stets zunehmende Größe der Holzkugeln.

Die segensreiche Lücke

Solch eine Gesetzmäßigkeit ist ja an sich schon wunderlich genug. Aber ihre Genauigkeit erwies sich im geschichtlichen Gang der Wissenschaft als noch viel erstaunlicher. Als Mendelejeff sich zum erstenmal die Holzkette betrachtete, bekam er einen gewaltigen Schreck, und ärgerlich mußte er feststellen, daß, nachdem zweimal die Reihenfolge: rot, grün, schwarz, gelb ... eingehalten war, sie beim drittenmal rot, schwarz, gelb ... hieß. „Hier fehlt ja eine Kugel", so sagte man dem Kind — jeder hätte das gesagt. Und auch Mendelejeff, der große Chemiker, war von der Richtigkeit seines Systems dermaßen überzeugt, daß er vorwurfsvoll ausrief: „Hier fehlt ein Element!" Der Gedanke, daß sein System falsch sein könnte, kam ihm nicht; kaltblütig forderte er die praktische Chemie auf, dies fehlende Element zu suchen.



Nun hatten die Chemiker jener Zeit die Erde wirklich gründlich genug nach neuen Elementen durchforscht. Aber Mendelejeff konnte ihr Suchen auf eine neue, planmäßige Basis stellen. „Sucht nicht einfach

Periodisches System der chemischen Elemente (1932)

1 H 1,0078		0	VIII	I a b	II a b	III a b	IV a b	V a b	VI a b	VII a b
Wertigkeit gegen H gegen O		0wertig 0wertig	verschieden verschieden	1wertig 1wertig	2wertig 2wertig	3wertig 3wertig	4wertig 4wertig	3wertig 5wertig	2wertig 6wertig	1wertig 7wertig
Periode I	Reihe 1	2 Ho 4,00		3 Li 6,94	4 Be 9,02	5 B 10,82	6 C 12,00	7 N 14,008	8 O 16,000	9 F 19,00
Periode II	Reihe 2	10 No 20,18		11 Na 22,99	12 Mg 24,32	13 Al 26,97	14 Si 28,06	15 P 31,02	16 S 32,06	17 Cl 35,46
Periode III	Reihe 3	18 Ar 39,94		19 K 39,10	20 Ca 40,08	21 Sc 45,10	22 Ti 47,90	23 V 50,95	24 Cr 52,01	25 Mn 54,93
	Reihe 4		26 Fe 55,84 27 Co 58,94 28 Ni 58,69	29 Cu 63,57	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,60	33 As 74,93	34 Se 79,2	35 Br 79,92
Periode IV	Reihe 5	36 Kr 83,7		37 Rb 85,44	38 Sr 87,63	39 Y 88,93	40 Zr 01,22	41 Nb 03,3	42 Mo 06,0	43 Ma ?
	Reihe 6		44 Ru 101,7 45 Rh 102,1 46 Pd 106,7	47 Ag 107,88	48 Cd 112,41	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 121,76	52 Te 127,5	53 J 126,93
Periode V	Reihe 7	54 X 131,3		55 Cs 132,81	56 Ba 137,36	57—71*) Selt. Erd.	72 Hf 178,6	73 Ta 181,4	74 W 184,0	75 Re 186,31
	Reihe 8		76 Os 190,8 77 Ir 193,1 78 Pt 195,23	79 Au 197,2	80 Hg 200,61	81 Tl 204,39	82 Pb 206,22	83 Bi 209,0	84 Po 210,5	85—**)
Periode VI	Reihe 9	86 Em 222		87—**)	88 Ra 225,97	89 Ac ca. 227	90 Th 232,12	91 Pa 235	92 U 238,14	

*) 57 La 138,9; 58 Ce 140,13; 59 Pr 140,92; 60 Nd 144,27; 61 *angeblich als Illinium aufgefunden*; 62 Sm 150,43; 63 Eu 152,0; 64 Gd 157,3; 65 Tb 159,2; 66 Dy 162,46; 67 Ho 163,5; 68 Er 167,64; 69 Tm 169,4; 70 Yb 173,5; 71 Cp 175,0. —

**) Zwei noch nicht entdeckte Elemente: 85 (Ekajod) u. 87 (Ekacaesium), *die wahrschl. radioaktiv u. schwerlich zu finden sind.*

gerade mit der Röntgenstrahlen-Methode kann man sonst selbst verschwindend kleine Stoffmengen nachweisen — hier versagte sie. So entschlossen sich Walter Noddak und Ida Tacke zu einem großartigen Verfahren: Forschung ins Unbekannte oder Chemie im Leeren. Sie sagten: Noch ist das unbekannte Element in dem Material, das uns vorliegt, nicht nachzuweisen. Aber wir wollen einmal so tun, als ob ... Man kennt ja nach dem periodischen System die Eigenschaften von L. 75 zur Genüge. Und wir werden so vorgehen, als hätten wir es schon entdeckt und bemühten uns, es rein darzustellen. Wir wollen das L. 75 in unseren Versuchslösungen anreichern, bevor es entdeckt ist! Sie waren wie zwei Jäger, die von irgendwoher die Überzeugung gewonnen haben, daß in dem Jagdrevier Hasen sein müssen; aber vielleicht nur ein paar, zuwenig, um sie im großen Wald zu entdecken. So beginnen sie, systematisch Futter zu streuen und Füchse und Krähen und dergleichen Raubzeug auszurotten. Und siehe da, nach ein paar Jahren sind die Hasen so zahlreich, daß bald einer, dann wieder einer zu sehen war und schließlich der Wald von Hasen wimmelte. So machten es die beiden Forscher — und nach unzähligen Waschungen und Fällungen und Destillationen *erhielten sie endlich* auf ihrem Röntgenfilm den ersten schwarzen Strich: L. 75, das unbekannte Element Rhenium, war entdeckt.

Nebenbei bemerkt erfolgen die heutigen Veröffentlichungen des Forscherpaars unter der Firma W. und J. Noddak. So stark sind die bindenden Kräfte der Chemie.

Besondere Kennzeichen: zwecklos

Ordnung muß sein, dachte Kriminalassistent Schobert, legte die Bleistifte hübsch parallel zurecht, rückte die Akten zusammen, den Steckbrief des gewohnheitsmäßigen Straßenräubers und Geldschrankknackers Artur Bulke obenauf, warf noch einen wohlgefälligen Blick auf den ordentlichen Schreibtisch und einen

eine Kugel", rief er ihnen zu. „Sucht eine grüne Kugel, von 2,5 cm Durchmesser." Oh, er wußte noch viel mehr von der Gesuchten. Er konnte, wenn wir an das Verbrecheralbum zurückdenken, einen vollständigen Steckbrief erlassen, Steckbrief nach einem flüchtigen Element: Gesucht Element 32, Größe, besondere Kennzeichen, vermutlicher Aufenthalt. Es war keine große Kunst mehr dabei — keine übermäßig große Kunst, sagen wir. Den geübten Experimental-Chemikern gelang es sehr rasch, die Flüchtlinge zu ermitteln und chemisch rein darzustellen.



So wurden in rascher Folge die „nationalen" Elemente, Germanium, Gallium, Skandium heißen sie — zu Ehren der Nationen ihrer Entdecker, Deutschland, Frankreich, Skandinavien — ans Licht gezogen. Die Lücken im System schlossen sich. Einige blieben bis in die jüngste Zeit noch übrig. Aber das bedeutete nun keine Gefahr mehr für das fest gegründete periodische System. Die noch fehlenden Elemente, so mußte man schließen, kamen eben überall in so geringer Menge, so fein verteilt vor, daß sie sich dem chemischen Nachweis bisher hatten entziehen können — sie waren wohl da, aller Wahrscheinlichkeit nach —, aber man konnte sie nicht auffinden. Unvorstellbar klein mußte die Konzentration eines solchen Stoffes sein.

Eines der schönsten Beispiele aus neuerer Zeit für die Suche nach solch einem Stoff ist die „Geschichte vom Element 75 oder die Jagd nach dem Rhenium". Man wußte, wie gesagt, im Jahre 1927 schon fast alles über die Lücke 75 im periodischen System. Nur das Element selbst hatte man noch nicht festnageln können — nicht einmal mit Röntgenstrahlen war ihm beizukommen. Und

gerade mit der Röntgenstrahlen-Methode kann man sonst selbst verschwindend kleine Stoffmengen nachweisen — hier versagte sie. Sie entschlossen sich Walter Noddak und Ida Tacke zu einem großartigen Verfahren: Forschung ins Unbekannte oder Chemie im Leeren. Sie sagten: Noch ist das unbekannte Element in dem Material, das uns vorliegt, nicht nachzuweisen. Aber wir wollen einmal so tun, als ob . . . Man kennt ja nach dem periodischen System die Eigenschaften von L. 75 zur Genüge. Und wir werden so vorgehen, als hätten wir es schon entdeckt und bemühten uns, es rein darzustellen. Wir wollen das L. 75 in unseren Versuchslösungen anreichern, bevor es entdeckt ist! Sie waren wie zwei Jäger, die von irgendwoher die Überzeugung gewonnen haben, daß in dem Jagdrevier Hasen sein müssen; aber vielleicht nur ein paar, zuwenig, um sie im großen Wald zu entdecken. So beginnen sie, systematisch Futter zu streuen und Füchse und Krähen und dergleichen Raubzeug auszurotten. Und siehe da, nach ein paar Jahren sind die Hasen so zahlreich, daß bald einer, dann wieder einer zu sehen war und schließlich der Wald von Hasen wimmelte. So machten es die beiden Forscher — und nach unzähligen Waschungen und Fällungen und Destillationen erhielten sie endlich auf ihrem Röntgenfilm den ersten schwarzen Strich: L. 75, das unbekannte Element Rhenium, war entdeckt.

Nebenbei bemerkt erfolgen die heutigen Veröffentlichungen des Forscherpaars unter der Firma W. und J. Noddak. So stark sind die bindenden Kräfte der Chemie.

Besondere Kennzeichen: zwecklos

Ordnung muß sein, dachte Kriminalassistent Schobert, legte die Bleistifte hübsch parallel zurecht, rückte die Akten zusammen, den Steckbrief des gewohnheitsmäßigen Straßenräubers und Geldschrankknackers Artur Bulke obenauf, warf noch einen wohlgefälligen Blick auf den ordentlichen Schreibtisch und einen



bitterbösen auf das tückische, unrasierte Bild des pp. Bulke und verließ das Zimmer. Das war am Abend. Als Schobert am nächsten Morgen sein Zimmer betrat und sich, nach einem wohlgefälligen Blick auf den aufgeräumten Schreibtisch, zur Arbeit setzte — da brach er sein lustiges Pfeifen auf einmal brüsk ab und fuhr ärgerlich hoch. Statt des tückischen, unrasierten Bulke blickte ihn der harmlose, etwas schwachsinnige, dünn behaarte Kopf des Heiratsschwindlers Butenthan an. „Die bösen Witze kennt man", meinte Schobert ärgerlich und schlurfte zum Verbrecheralbum, um sein Kartothekblatt wieder gegen das richtige einzutauschen. Aber Bulke war nicht auf seinem Platz, und als er in böser Ahnung das zweite Fach aufschlug, lächelte ihm auch von dort, treuherzig wie je, ein Butenthan entgegen. Es half nichts, der böse, unrasierte Bulke hatte sich über Nacht in den Heiratsschwindler verwandelt. Schobert tobte. Wie sollte man da einen ordentlichen Steckbrief erlassen, wenn sich die besonderen Kennzeichen über Nacht so veränderten? Ja, grausig zu sagen, aber in einer ebensolchen Lage befand sich die Chemie um das Jahr 1896.



Der Beginn sah harmlos genug aus. Becquerel, ein französischer Forscher, hatte bei seinen Versuchen mit Uranerzen eine Probe des Gesteins über Nacht auf einer Photoplatte stehen lassen. Die Platte war in einem lichtdichten Karton eingeschlossen, aber dennoch fand Becquerel beim Entwickeln einen schwarzen Fleck an der Stelle, auf der das Uran gelegen hatte. Eine unbekannte Strahlung mußte auf die Platte eingewirkt haben — eine Strahlung, die nur aus dem Urangestein kommen konnte und die imstande war, den dichten Karton zu durchdringen. Im Jahre





vorher hatte Röntgen seine großartige Entdeckung gemacht — handelt es sich hier um eine neue Art der Röntgenstrahlen? Man ging dem sonderbaren Phänomen mit Energie nach. Marie und Pierre Curie in Paris fanden die Erklärung. Überrascht und geblendet drangen die Physiker in eine neue, unbekannte Welt ein.



Radium — „das Strahlende" — nannte Marie Curie das Element, das die geheimnisvollen Becquerel-Strahlen aussandte. Radium — ein schweres Metall, dem bekannten Barium aufs engste verwandt — füllte eine der oben erwähnten „Lücken" im periodischen System aus. Es erhielt die freie Stelle 88, Gewicht 226 zugeteilt. Winzig, unvorstellbar gering ist der Radiumgehalt des Uranerzes der Joachimsthaler Pechblende. Zehn Tonnen — 10000 Kilogramm — Pechblende lieferten im günstigsten Fall ein Gramm Radium. 160000 Mark betrugen die Kosten für die Herstellung, sein Verkaufswert fast das Dreifache. Es war eine Meisterleistung der analytischen Chemie. Aber nun hatte man es und konnte die rätselhafte Strahlung näher erforschen. Drei Arten von Strahlen ließen sich unterscheiden: 1. α-Strahlen, kleine, schwere, positiv geladene Teilchen, die mit ungeheurer Wucht aus dem Präparat geschleudert wurden. Sie wurden für die Schwärzung der Platte verantwortlich gemacht. 2. β-Strahlen, sehr leicht und negativ elektrisch — und man fand bald genug, daß die β-Strahlen einfach „Elektronen" sind — freie negative Elektrizität von ungeheurer Geschwindigkeit. Das Tempo der β-Strahlen erreicht beinahe den Weltrekord, die 300000 km/sec der Lichtgeschwindigkeit. Und schließlich 3. die γ-Strahlen — sie erweisen sich als sehr kraftvolle, harte, gewalttätige



Röntgenstrahlen; tausendmal durchdringender, als die stärksten bis damals erzeugten künstlichen Röntgenstrahlen es waren.

Wer einmal ein Probeschießen nach Panzerplatten erlebt hat, weiß, wie glühheiß die schweren Stahlplatten nach einigen Einschüssen werden können. Ruckartig werden die schweren Geschosse beim Aufprall und beim Eindringen in den Panzer abgebremst, und die gewaltige Energie, die Wucht der Granaten setzt sich dabei in Wärme um, in Reibungswärme. Auch die α-Strahlen, die schweren, schnellen Teilchen, werden in den Körpern, auf die sie treffen, abgebremst, sie verlieren sogar schon nach Durcheilung weniger Zentimeter in der freien Luft ihre Geschwindigkeit. Aber ihre Energie kann ja nicht verschwinden — und sie findet sich in einer ganz gleichartigen Wärmewirkung wieder — Bremswärme, Reibungswärme auch hier. Die α-Teilchen, die 4 kg Radium ständig in die Welt hinausschießen, würden pro Stunde genügend Wärme erzeugen, um ein Liter Wasser bis zum Sieden zu bringen; *ein Radiumpräparat ist darum immer ein paar Grad wärmer als* die Umgebung und bleibt es bis in alle Ewigkeit.

Bis in alle Ewigkeit? Tag um Tag, Jahr um Jahr sandte das Radium seine geheimnisvollen Strahlen aus, verströmte Energien in die Welt. Wo kamen sie her? Holte das Radium seine Strahlen aus dem Nichts? Wurde die Weisheit des Energiegesetzes zuschanden? Die Physiker konnten das nicht glauben — und schließlich fand sich die Erklärung; aber sie war womöglich noch unfaßlicher als die Sache selbst. Der Engländer Rutherford brachte die Lösung: das Radium ist ein Element, das eigentlich gar keines ist. *Schließt man 1000 g reines Radium in einen undurchdringlichen* Kasten ein, so enthält er nach einem Jahr nur noch 999 g Radium und dazu eine Reihe anderer Elemente vom Gesamtgewicht 1 g.



Das Radium, dies Element, dieser angeblich unzerlegbare Grundstoff, wandelte sich im Laufe der Zeit langsam, aber unaufhaltsam in ein anderes Element um.

Das Radium-Atom zerfällt

Ganz von allein, unbeeinflußbar durch irgendein menschliches Mittel, nach verborgenen, unerbittlichen Gesetzen zerfällt das Radium-Atom. Es schießt seine α-Strahlen hinaus, und diese α-Strahlen, die geheimnisvollen schweren Teilchen, sind im Grunde nichts als das längst bekannte Gas Helium — jedes α-Teilchen ist ein Helium-Atom. Der Rückstand ist etwas anderes als das Radium, es ist die Radium-Emanation, es ist ein neues Element. Ein alter Alchimistentraum wurde so nüchterne Wirklichkeit, im Laboratorium des 20. Jahrhunderts nach allen Regeln der Kunst bestätigt. Die Elemente, die Urstoffe aller Materie, waren nichts Endgültiges!

Zerfall der Elemente! Es ist schwer, die Aufregung zu beschreiben, die die wissenschaftliche Welt erfaßte. Die Elemente, die Grundlage der Chemie, nichts Endgültiges? Das periodische System, dies Wunderwerk Mendelejeffs, dieser tausendfach erprobte Gedanke — zerschlagen, ungültig, nur ein blinder Zufall? Weltuntergangsgedanken mögen sich der Forscher damals bemächtigt haben. Ein ganzes Wissenschafts-System geriet ins Wanken. Wenn sogar die Elemente nicht mehr beständig waren — wo gab es noch etwas, woran man sich halten konnte? Und wirklich, je tiefer man in das Wundergebiet der Radioaktivität eindrang, um so größer wurde das Erstaunen.

Denn Radium blieb nicht das einzige. Man fand die anderen auch, alle die geheimnisvollen, strahlenden Elemente, die zerfielen und sich ineinander verwandelten. Auch das Tempo des Zerfalls dieser radioaktiven Elemente ließ sich ermitteln. „Halbwertszeit" nennt man die Zeit, nach deren Ablauf die Hälfte der Substanzmenge zerfallen ist; aber die radioaktiven Elemente haben beileibe nicht alle die gleiche Halbwertszeit. Eintagsfliegen gibt es unter ihnen, Elemente, die nur Bruch-



Röntgenstrahlen; tausendmal durchdringender, als die stärksten bis damals erzeugten künstlichen Röntgenstrahlen es waren.

Wer einmal ein Probeschießen nach Panzerplatten erlebt hat, weiß, wie glühheiß die schweren Stahlplatten nach einigen Einschüssen werden können. Ruckartig werden die schweren Geschosse beim Aufprall und beim Eindringen in den Panzer abgebremst, und die gewaltige Energie, die Wucht der Granaten setzt sich dabei in Wärme um, in Reibungswärme. Auch die α-Strahlen, die schweren, schnellen Teilchen, werden in den Körpern, auf die sie treffen, abgebremst, sie verlieren sogar schon nach Durcheilung weniger Zentimeter in der freien Luft ihre Geschwindigkeit. Aber ihre Energie kann ja nicht verschwinden — und sie findet sich in einer ganz gleichartigen Wärmewirkung wieder — Bremswärme, Reibungswärme auch hier. Die α-Teilchen, die 4 kg Radium ständig in die Welt hinausschießen, würden pro Stunde genügend Wärme erzeugen, um ein Liter Wasser bis zum Sieden zu bringen; ein Radiumpräparat ist darum immer ein paar Grad wärmer als die Umgebung und bleibt es bis in alle Ewigkeit.

Bis in alle Ewigkeit? Tag um Tag, Jahr um Jahr sandte das Radium seine geheimnisvollen Strahlen aus, verströmte Energien in die Welt. Wo kamen sie her? Holte das Radium seine Strahlen aus dem Nichts? Wurde die Weisheit des Energiegesetzes zuschanden? Die Physiker konnten das nicht glauben — und schließlich fand sich die Erklärung; aber sie war womöglich noch unfaßlicher als die Sache selbst. Der Engländer Rutherford brachte die Lösung: das Radium ist ein Element, das eigentlich gar keines ist. Schließt man 1000 g reines Radium in einen undurchdringlichen Kasten ein, so enthält er nach einem Jahr nur noch 999 g Radium und dazu eine Reihe anderer Elemente vom Gesamtgewicht 1 g.



Das Radium, dies Element, dieser angeblich unzerlegbare Grundstoff, wandelte sich im Laufe der Zeit langsam, aber unaufhaltsam in ein anderes Element um.

Das Radium-Atom zerfällt

Ganz von allein, unbeeinflußbar durch irgendein menschliches Mittel, nach verborgenen, unerbittlichen Gesetzen zerfällt das Radium-Atom. Es schießt seine α-Strahlen hinaus, und diese α-Strahlen, die geheimnisvollen schweren Teilchen, sind im Grunde nichts als das längst bekannte Gas Helium — jedes α-Teilchen ist ein Helium-Atom. Der Rückstand ist etwas anderes als das Radium, es ist die Radium-Emanation, es ist ein neues Element. Ein alter Alchimistentraum wurde so nüchterne Wirklichkeit, im Laboratorium des 20. Jahrhunderts nach allen Regeln der Kunst bestätigt. Die Elemente, die Urstoffe aller Materie, waren nichts Endgültiges!

Zerfall der Elemente! Es ist schwer, die Aufregung zu beschreiben, die die wissenschaftliche Welt erfaßte. Die Elemente, die Grundlage der Chemie, nichts Endgültiges? Das periodische System, dies Wunderwerk Mendelejeffs, dieser tausendfach erprobte Gedanke — zerschlagen, ungültig, nur ein blinder Zufall? Weltuntergangsgedanken mögen sich der Forscher damals bemächtigt haben. Ein ganzes Wissenschafts-System geriet ins Wanken. Wenn sogar die Elemente nicht mehr beständig waren — wo gab es noch etwas, woran man sich halten konnte? Und wirklich, je tiefer man in das Wundergebiet der Radioaktivität eindrang, um so größer wurde das Erstaunen.

Denn Radium blieb nicht das einzige. Man fand die anderen auch, alle die geheimnisvollen, strahlenden Elemente, die zerfielen und sich ineinander verwandelten. Auch das Tempo des Zerfalls dieser radioaktiven Elemente ließ sich ermitteln. „Halbwertszeit" nennt man die Zeit, nach deren Ablauf die Hälfte der Substanzmenge zerfallen ist, aber die radioaktiven Elemente haben beileibe nicht alle die gleiche Halbwertszeit. Eintagsfliegen gibt es unter ihnen, Elemente, die nur Bruch-



Röntgenstrahlen; tausendmal durchdringender, als die stärksten bis damals erzeugten künstlichen Röntgenstrahlen es waren.

Wer einmal ein Probeschießen nach Panzerplatten erlebt hat, weiß, wie glühheiß die schweren Stahlplatten nach einigen Einschüssen werden können. Ruckartig werden die schweren Geschosse beim Aufprall und beim Eindringen in den Panzer abgebremst, und die gewaltige Energie, die Wucht der Granaten setzt sich dabei in Wärme um, in Reibungswärme. Auch die α-Strahlen, die schweren, schnellen Teilchen, werden in den Körpern, auf die sie treffen, abgebremst, sie verlieren sogar schon nach Durcheilung weniger Zentimeter in der freien Luft ihre Geschwindigkeit. Aber ihre Energie kann ja nicht verschwinden — und sie findet sich in einer ganz gleichartigen Wärmewirkung wieder — Bremswärme, Reibungswärme auch hier. Die α-Teilchen, die 4 kg Radium ständig in die Welt hinausschießen, würden pro Stunde genügend Wärme erzeugen, um ein Liter Wasser bis zum Sieden zu bringen; ein Radiumpräparat ist darum immer ein paar Grad wärmer als die Umgebung und bleibt es bis in alle Ewigkeit.

Bis in alle Ewigkeit? Tag um Tag, Jahr um Jahr sandte das Radium seine geheimnisvollen Strahlen aus, verströmte Energien in die Welt. Wo kamen sie her? Holte das Radium seine Strahlen aus dem Nichts? Wurde die Weisheit des Energiegesetzes zuschanden? Die Physiker konnten das nicht glauben — und schließlich fand sich die Erklärung; aber sie war womöglich noch unfaßlicher als die Sache selbst. Der Engländer Rutherford brachte die Lösung: das Radium ist ein Element, das eigentlich gar keines ist. Schließt man 1000 g reines Radium in einen undurchdringlichen Kasten ein, so enthält er nach einem Jahr nur noch 999 g Radium und dazu eine Reihe anderer Elemente vom Gesamtgewicht 1 g.



Das Radium, dies Element, dieser angeblich unzerlegbare Grundstoff, wandelte sich im Laufe der Zeit langsam, aber unaufhaltsam in ein anderes Element um.

Forscher sah lange in das Feuer. Ein dünner Rauchfaden stieg aus seiner Pfeife hoch. „Man ahnte ja schon in dieser Zeit, daß die Atome ihrerseits noch zusammengesetzt sind und also ihren Namen zu Unrecht tragen. Aber ich werde Ihnen lieber ein Märchen erzählen — das Märchen von der Erschaffung der Welt.

Eigentlich war die Sache ganz einfach. Sir Ernest Rutherford hatte bei seinen Versuchen die löcherige Struktur der Materie entdeckt — das heißt er hatte eingesehen, daß die Welt im Grunde ein grober Schwindel war. Er war hinter die Schliche der Natur gekommen. Er hatte gefunden, daß die Stoffe in Wirklichkeit gar nicht fest zusammenhängend waren. Es kommt uns nur so vor, weil die Atome, die einen Stoff — z. B. die Holzplatte unseres Schreibtisches — bilden, untereinander durch elektrische Kräfte in festem Gleichgewicht gehalten werden. In Wahrheit sind viel mehr Löcher da als feste Stellen. Rutherford glaubte zu wissen, welches die wahren Bausteine der Materie sein müßten: einmal das Elektron; leicht, sehr leicht, ein feines Teilchen aus *negativer* Elektrizität. Zum zweiten das sogenannte Proton: ein positiv geladenes Teilchen, 2000mal schwerer als das Elektron. Beide tragen sie die gleiche Elektrizitätsmenge, nur verschiedenen Vorzeichens. Im Kapitel Elektrizität kommen wir noch *darauf zurück*. Rutherford war der festen Überzeugung, aus diesen beiden, *aus* Proton und Elektron, alle Atome der ganzen Welt aufbauen zu können Und so beginnt die Geschichte.

In seinem hohen, großen Arbeitszimmer saß Sir Ernest Rutherford und betrachtete voller Zufriedenheit und mit einer gewissen Spannung die beiden Pakete, die er heute erhalten hatte. P und El stand auf den beiden Schachteln — und als er sie öffnete und die Deckel abhob, begann sogar Sir Ernest zu lächeln. Da waren sie,



teile von Sekunden leben und sofort weiter zerfallen, wie das sogenannte Radium C', dessen Halbwertszeit neun milliardstel Sekunde beträgt; aber, daran besteht kein Zweifel, auch sie sind wirkliche chemische Elemente. Und es gibt andere, die Jahrtausende und Jahrmillionen leben — Thorium hat eine Halbwertszeit von 20 Milliarden Jahren! —, strahlen und sich langsam, ganz langsam verwandeln; auch sie aber, wenngleich nicht raketenartig verpuffend wie die anderen, sind in steter, unaufhaltsamer Zersetzung begriffen. Bis in alle Ewigkeit strahlt Radium also nicht. Immer geringer wird die Anzahl der Radium-Atome in Rutherfords Kasten. Nach 1580 Jahren ist nur noch die Hälfte — 500 g — vorhanden, und der Zerfall geht weiter. Nach abermals 1580 Jahren — im Jahre 5094 also — lebt noch ein Viertel der ursprünglichen Substanzmenge, noch 250 g Radium enthält dann der Kasten. Einmal aber, in grauer Zukunft, wird auch das letzte Radium-Atom von seinem Geschick ereilt. Ein letzter α-Strahl, und das Radium ist endgültig ausgelöscht.

Auf erstaunliche, schreckhafte Weise schien die Materie Leben gewonnen zu haben. Was man für ewig und unzerstörbar gehalten hatte — es zerfiel, ohne daß Menschenmacht das mindeste daran ändern konnte. Unaufhaltsam zerstrahlten die Radium-Elemente. Durch kein irdisches Mittel ließ sich die Halbwertszeit verändern. Den Menschen blieb nichts übrig, als resigniert zu beobachten, ohnmächtig; wo waren die höheren Gesetze, denen die sonderbaren Stoffe gehorchten — gab es überhaupt Gesetze für diese Vorgänge?

Sir Ernest baut eine Welt

Ein Märchen

„Sie sehen", sprach mein Gastgeber, „es gab nur eine Frage, die jetzt gestellt werden mußte: Was ist ein Atom?" Wir saßen am Kamin im Arbeitszimmer des Gelehrten. Die einzige Lampe vermochte das Dunkel des Raums kaum zu durchdringen, und der

Forscher sah lange in das Feuer. Ein dünner Rauchfaden stieg aus seiner Pfeife hoch. „Man ahnte ja schon in dieser Zeit, daß die Atome ihrerseits noch zusammengesetzt sind und also ihren Namen zu Unrecht tragen. Aber ich werde Ihnen lieber ein Märchen erzählen — das Märchen von der Erschaffung der Welt.

Eigentlich war die Sache ganz einfach. Sir Ernest Rutherford hatte bei seinen Versuchen die löcherige Struktur der Materie entdeckt — das heißt er hatte eingesehen, daß die Welt im Grunde ein grober Schwindel war. Er war hinter die Schliche der Natur gekommen. Er hatte gefunden, daß die Stoffe in Wirklichkeit gar nicht fest zusammenhängend waren. Es kommt uns nur so vor, weil die Atome, die einen Stoff — z. B. die Holzplatte unseres Schreibtisches — bilden, untereinander durch elektrische Kräfte in festem Gleichgewicht gehalten werden. In Wahrheit sind viel mehr Löcher da als feste Stellen. Rutherford glaubte zu wissen, welches die wahren Bausteine der Materie sein müßten: einmal das Elektron, leicht, sehr leicht, ein feines Teilchen aus negativer Elektrizität. Zum zweiten das sogenannte Proton: ein positiv geladenes Teilchen, 2000mal schwerer als das Elektron. Beide tragen sie die gleiche Elektrizitätsmenge, nur verschiedenen Vorzeichens. Im *Kapitel Elektrizität* kommen wir noch darauf zurück. Rutherford war der festen Überzeugung, aus diesen beiden, aus Proton und Elektron, alle Atome der ganzen Welt aufbauen zu können. Und so beginnt die Geschichte.

In seinem hohen, großen Arbeitszimmer saß Sir Ernest Rutherford und betrachtete voller Zufriedenheit und mit einer gewissen Spannung die beiden Pakete, die er heute erhalten hatte. P und El stand auf den beiden Schachteln — und als er sie öffnete und die Deckel abhob, begann sogar Sir Ernest zu lächeln. Da waren sie,



teile von Sekunden leben und sofort weiter zerfallen, wie das sogenannte Radium C′, dessen Halbwertszeit neun milliardstel Sekunde beträgt; aber, daran besteht kein Zweifel, auch sie sind wirkliche chemische Elemente. Und es gibt andere, die Jahrtausende und Jahrmillionen leben — Thorium hat eine Halbwertszeit von 20 Milliarden Jahren! —, strahlen und sich langsam, ganz langsam verwandeln; auch sie aber, wenngleich nicht raketenartig verpuffend wie die anderen, sind in steter, unaufhaltsamer Zersetzung begriffen. Bis in alle Ewigkeit strahlt Radium also nicht. Immer geringer wird die Anzahl der Radium-Atome in Rutherfords Kasten. Nach 1580 Jahren ist nur noch die Hälfte — 500 g — vorhanden, und der Zerfall geht weiter. Nach abermals 1580 Jahren — im Jahre 5094 also — lebt noch ein Viertel der ursprünglichen Substanzmenge, noch 250 g Radium enthält dann der Kasten. Einmal aber, in grauer Zukunft, wird auch das letzte Radium-Atom von seinem Geschick ereilt. Ein letzter α-Strahl, und das Radium ist endgültig ausgelöscht.

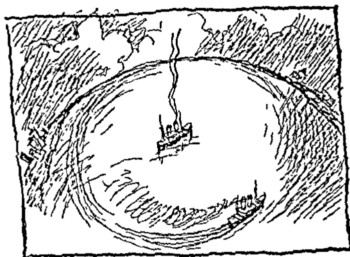
Auf erstaunliche, schreckhafte Weise schien die Materie Leben gewonnen zu haben. Was man für ewig und unzerstörbar gehalten hatte — es zerfiel, ohne daß Menschenmacht das mindeste daran ändern konnte. Unaufhaltsam zerstrahlten die Radium-Elemente. Durch kein irdisches Mittel ließ sich die Halbwertszeit verändern. Den Menschen blieb nichts übrig, als resigniert zu beobachten, ohnmächtig; wo waren die höheren Gesetze, denen die sonderbaren Stoffe gehorchten — gab es überhaupt Gesetze für diese Vorgänge?

Sir Ernest baut eine Welt

Ein Märchen

„Sie sehen", sprach mein Gastgeber, „es gab nur eine Frage, die jetzt gestellt werden mußte: Was ist ein Atom?" Wir saßen am Kamin im Arbeitszimmer des Gelehrten. Die einzige Lampe vermochte das Dunkel des Raums kaum zu durchdringen, und der

mit der Fingerspitze — und es begann, das Proton zu umkreisen. In schnellem, gleichmäßigem Lauf zog die weiße Kugel ihre Bahn um das schwere schwarze Zentrum. Die Zentrifugalkraft hielt der elektrischen Anziehung zwischen beiden die Waage. ‚Seht her', sagte Rutherford, ‚das ist der leichteste und der einfachste



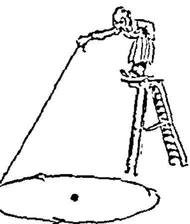
Stoff: nur eine Kugel von jeder Sorte.' Es war das Wasserstoff-Atom, das der Gelehrte so geschaffen hatte. Das Gas Wasserstoff. Der leichteste und einfachste Stoff der Welt. Das Ur-Atom sozusagen — der Anfang der Stufenleiter.

Sie sehen, auch die angebliche Unteilbarkeit des Atoms war eine falsche Vorspiegelung von Tatsachen, so etwa wie eine glühende Kohle, rasch im Kreis herumgeschwungen, dem leichtgläubigen Auge den überzeugenden Eindruck eines feurigen Reifens aufdrängt. Aber Rutherford durchschaute es. Im wesentlichen bestand das Atom aus nichts. Zwei winzige Pünktchen, die einander in riesigem Abstand umkreisen." „Nun, so groß kann der Abstand ja nicht sein", wagte ich einzuwerfen. „Atome sind doch nicht übermäßig groß." „Etwa ein hundertmillionstel Zentimeter. Zehn

zu glänzenden Bergen aufgehäuft — fabrikneue Protonen und Elektronen. Man hatte sie verschiedenfarbig angestrichen, die Protonen schwarz und die Elektronen weiß, wohl um sie besser unterscheiden zu können. Aber das wäre eigentlich nicht nötig gewesen, denn man konnte sie ja, abgesehen von ihrer verschiedenen Ladung, ganz leicht am Gewicht unterscheiden. Wie Blei wogen die kleinen, schwarzen Protonen in der Hand; und wie schillernde, tanzende Seifenblasen schienen ihm die weißen Elektronen — unzuverlässige, närrische Gesellen.

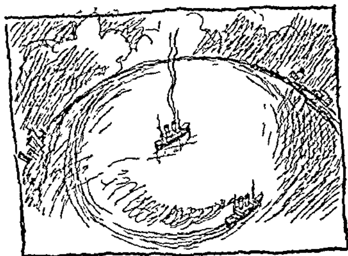
Rutherford rieb sich nachdenklich das Kinn. Hier waren sie wieder, die ununterscheidbaren Atome, die letzten starren Bausteine alles Seins, die Demokrit vor sich gesehen hatte. Aber es gab nur noch zwei Arten, zwei Gegenspieler: Proton und Elektron. Und der Forscher nahm eine schwere schwarze und eine weiße leichte Kugel, setzte das Proton in die Mitte auf den Tisch und das Elektron in einer gehörigen Entfernung davon ..." Mein Gastgeber machte eine kleine Pause und sog heftig an seiner Pfeife.

„Welch ein Unsinn", meinte ich überzeugt. „Welch ein Unsinn! Die beiden Kugeln ziehen sich doch an — sehr energisch sogar, als ob eine Feder oder ein stark gespannter Gummifaden zwischen beiden vorhanden wäre. Denkt denn Rutherford gar nicht an die elektrischen Kräfte? Das Elektron muß unweigerlich in das Proton hineinstürzen. Kein schönes Atom ..."



„Ja — diese Schwierigkeit hatte Rutherford natürlich auch gesehen. Aber, so dachte er, wenn ich eine Kugel an einen Gummifaden binde und rasch im Kreis herumschwinge — dann bleibt sie in einem großen Abstand von meiner Hand trotz des Gummizugs. Die Zentrifugalkraft hält der Gummispannung das Gleichgewicht. Und so gab er seinem Elektron einen leichten, eleganten Anstoß

mit der Fingerspitze — und es begann, das Proton zu umkreisen. In schnellem, gleichmäßigem Lauf zog die weiße Kugel ihre Bahn um das schwere schwarze Zentrum. Die Zentrifugalkraft hielt der elektrischen Anziehung zwischen beiden die Waage. ‚Seht her', sagte Rutherford, ‚das ist der leichteste und der einfachste



Stoff: nur *eine* Kugel von jeder Sorte.' Es war das Wasserstoff-Atom, das der Gelehrte so geschaffen hatte. Das Gas Wasserstoff. Der leichteste und einfachste Stoff der Welt. Das Ur-Atom sozusagen — der Anfang der Stufenleiter.

Sie sehen, auch die angebliche Unteilbarkeit des Atoms war eine falsche Vorspiegelung von Tatsachen, so etwa wie eine glühende Kohle, rasch im Kreis herumgeschwungen, dem leichtgläubigen Auge den überzeugenden Eindruck eines feurigen Reifens aufdrängt. Aber Rutherford durchschaute es. Im wesentlichen bestand das Atom aus nichts. Zwei winzige Pünktchen, die einander in riesigem Abstand umkreisen." „Nun, so groß kann der Abstand ja nicht sein", wagte ich einzuwerfen. „Atome sind doch nicht übermäßig groß." „Etwa ein hundertmillionstel Zentimeter. Zehn

Millionen dieser Atome nebeneinander gelegt, ergeben ein Millimeter. Das ist nicht viel, gewiß — nur eben, das Elektron und das Proton sind noch um vieles kleiner. Denken Sie sich den Ozean zwischen Europa und Amerika völlig leer, nur in der Mitte einen großen Passagierdampfer vor Anker liegend. In einem Bogen, der New York, den Äquator und dann Island berührt, umkreist ihn ein zweiter, ein anderer Dampfer. Weiter ist nichts auf der spiegelglatten Wasserfläche. Da haben Sie ein Bild von der grenzenlosen Leere, die in Wahrheit die Materie darstellt. Nur in der unermeßlichen Weite des Sternhimmels finden sich Gegenbeispiele, in der hoffnungslosen Verlorenheit, mit der die kleinen Sonnen im leeren, kalten Dunkel, fern, unausdenkbar fern voneinander ihre Bahnen ziehen ..." Mein Gastgeber machte eine kleine Pause, wie um das seltsame Bild, das er eben entworfen hatte, nachklingen zu lassen. Es war seltsam! Die Erde, der Tisch hier vor mir, der Rauch meiner Zigarette wie meine Hände: alle bestehen sie aus Atomen, aus Elektrizität, rasender Elektrizität, aus Protonen und Elektronen, die fern voneinander wie die beiden Schiffe auf dem Ozean in ihren Kreisen einherjagen. Könnte man die Protonen und Elektronen, aus denen ein Mensch letztlich besteht, wirklich eng aneinanderpacken — man würde sie bequem in einem Stecknadelkopf unterbringen.

Als hätte er meine Gedanken gelesen, begann der Forscher wieder mit seiner ruhigen, zuversichtlichen Stimme: „Rutherford erschrak nicht. Sein klares naturwissenschaftliches Denken bebte nicht zurück vor diesem sonderbaren Bild der Materie; er sah weniger das Gefühl der Unzuverlässigkeit, der Unsicherheit, das den normalen Geist, der zum erstenmal diese Gedanken nachdenkt, unweigerlich befällt. Der englische Physiker sah vielmehr das Großartige dieser belebten Anschauung, die Einfachheit, die zwingende Klarheit und unumstößliche Logik seiner Vorstellungen. Er freute sich über das tolle wirbelnde Ding, das Wasserstoff-Atom, und beschloß, im Aufbau fortzufahren. Der Weg schien ihm

richtig: Das Atom als Planetensystem aufzufassen, eine ‚Sonne', einen schweren Kern in die Mitte zu setzen, und ihn von leichten Elektronen umkreisen zu lassen. Er warf einen schnellen Blick auf die Tafel des periodischen Systems an der Wand: Helium käme als Nummer 2, stellte er fest. Das ‚Edelgas' Helium, Atomgewicht 4 stand in der Tabelle. Und er nahm vier der schwarz glänzenden, bleischweren Protonen aus dem Kasten und wog sie prüfend in der Hand; die leichten Elektronen würden das Gewicht ja nicht weiter beeinflussen. Vier Protonen müssen im Kern dieses Atoms sein, soviel steht fest, dachte er. Aber schon empfand er schreckhaft eine ernstliche Schwierigkeit. Diese vier Protonen können sich ja nicht vertragen. Vier positive Ladungen so dicht zusammen — wie soll das gut ausgehen? Sie stoßen sich doch gegenseitig ab. Und wie er die vier mit den Händen umschloß, spürte er ihr unruhiges Zittern, ihr Auseinanderdrängen. Es kam ihm vor, als hätte er eine übermäßig zusammengedrückte Sprungfeder in der Hand, so stark war der Druck, so suchten sich die vier Protonen gegenseitig auszuweichen. Das gibt eine Katastrophe, dachte Rutherford betrübt. Der Heliumkern fliegt auseinander, bevor er noch richtig aufgebaut ist. So geht es nicht.

Und noch eine zweite Frage erschien: Ein gewöhnliches Helium-Atom wirkt nach außen elektrisch neutral, es wirkt genau wie ein ungeladenes Teilchen. Das hieß offenbar, daß zu den vier schwarzen auch vier weiße Kugeln gehörten — zu vier Protonen vier Elektronen, damit weder positive noch negative Ladung im Überschuß vorhanden war. Schön und gut. Aber alle anderen physikalischen Erfahrungen fordern gebieterisch, daß nur zwei Elektronen den Helium-Kern umkreisen dürfen. Man hat Wasserstoff bemerkt, dem ein Elektron fehlt: ein ‚Wasserstoff-Jon', das mit dem Proton identisch ist. Man hat Helium gefunden, dem eine, auch zwei negative Ladungen fehlten — aber niemals mehr als zwei. Was zum Teufel sollte Rutherford mit den beiden überschüssigen Elektronen beginnen?

Die Rettung: Neutronen

Solche Skrupel plagten Sir Ernest Rutherford. Auf alle Fälle war der Heliumkern komplizierter, als er gedacht hatte. Rutherford wollte die Schwierigkeit damals — es war im Jahre 1911 — auf geistreiche Weise überwinden; es schien ihm nötig, zwei Elektronen zwischen die vier Protonen in den Kern ‚einzubacken'. Aber die Physik betrachtet das Problem heute etwas anders."

Der Gelehrte lehnte sich zurück und schwieg. Dann setzte er seine Pfeife aufs neue in Brand und sah mich fragend an. „Ich weiß nicht recht, ob Sie damit einverstanden sind, daß ich unserem Freund Rutherford an dieser Stelle etwas zu Hilfe komme? Daß ich mich als Deus ex machina mit den Erkenntnissen des Jahres 1934 in Lord Rutherfords Arbeitszimmer begebe und ihm ein paar Ratschläge gebe?"

„Bitte — was würden Sie tun?"

„Nun, ich würde ihm eine Schachtel mit Neutronen überreichen." „Neutronen?" „Ja, Chadwick hat im Jahre 1932 entdeckt, daß es Neutronen in der Welt gibt. Es sind kleine, elektrisch neutrale Teilchen, die ungefähr das gleiche Gewicht wie das Proton haben.

Es mag sein, daß Rutherford erst zweifelnd, dann begeistert von der neuen Möglichkeit, sich daran gemacht hätte — selber Neutronen zu fabrizieren. Er führt ein Elektron und ein Proton ganz eng zusammen — man hört ein leises ‚Klick!', als wenn man einen Druckknopf zuknöpft; und nun bleiben die beiden ständig vereinigt. Positive und negative Ladung sind gegeneinander abgesättigt. Das Paar wirkt nach außen elektrisch neutral. Sein Gewicht ist ungefähr gleich dem des Protons — denken Sie daran,



daß das Elektron 2000mal leichter als das Proton ist, also zum Gewicht so gut wie nichts beisteuert — es ist ein Neutron, würde Chadwick sagen.

Die Existenz der Neutronen ist nicht zu bestreiten. Möglich ist es schon, daß ein Neutron wirklich zusammengesetzt ist — aus

einem Elektron und einem Proton entstehen kann. Manche theoretische Überlegung spricht dafür. Freilich ist auch die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß das Neutron ein „echtes" Elementarteilchen ist, nicht zusammengesetzt, und daß sich Rutherford erst eine Kiste mit Neutronen aus der Fabrik besorgen muß, ehe er weiter aufbaut. Aber was kümmert uns die Frage nach der Natur der Neutronen, ich habe ihm ja welche mitgebracht.

Das wäre eins. Des weiteren aber würde ich mich in Positur stellen und eine kleine Rede halten, etwa so:

‚Gerade Ihre Forschungen, Lord Rutherford, über Radioaktivität und Atombau sind entscheidend für die Entwicklung der neuen Physik geworden. Wir haben viel Neues erfahren, aber wir sind auch bescheidener geworden. Wir wissen, daß die normalen physikalischen Vorstellungen im Innern der Atomkerne versagen. Dort wird allerhand möglich sein; aber ob unsere bekannten Gesetze und Gleichungen dort noch gelten, das darf man bezweifeln. Es ist noch zu früh für spezialisierte, anschauliche Vorstellungen. Wir begnügen uns heute mit der Voraussetzung, daß Protonen und Neutronen nebeneinander im Kern vorkommen, daß sie durch irgendwelche Kräfte — der farblose Name ‚Wechselwirkungskräfte', den wir benutzen, kennzeichnet unsere Einstellung — zusammengehalten werden. Außerhalb des Kerns, zwischen Kern und Elektron, wollen wir die alten Gesetze der Physik gelten lassen.'

Die neuen Anschauungen bedeuten eine Vereinfachung gegenüber Rutherfords ursprünglichem Modell. Freilich nehmen sie ihm viel von seiner bestrickenden Anschaulichkeit. Sie sind, wir wollen das noch einmal betonen, nur möglich seit der Entdeckung des Neutrons. Und vergessen wir nicht — an der Entwicklung der neuen Physik hat Rutherford entscheidenden Anteil. Aber nun konnte Sir Ernest mit seiner Arbeit fortfahren.

Er legte zwei von den vier Protonen in ihre Schachtel zurück und ersetzte sie durch farblos graue, nur schwere Neutronen. Im übrigen vertraute er darauf, daß die Wechselwirkungskräfte den

Solche Skrupel plagten Sir Ernest Rutherford. Auf alle Fälle war der Heliumkern komplizierter, als er gedacht hatte. Rutherford wollte die Schwierigkeit damals — es war im Jahre 1911 — auf geistreiche Weise überwinden; es schien ihm nötig, zwei Elektronen zwischen die vier Protonen in den Kern ‚einzubacken'. Aber die Physik betrachtet das Problem heute etwas anders."

Der Gelehrte lehnte sich zurück und schwieg. Dann setzte er seine Pfeife aufs neue in Brand und sah mich fragend an. „Ich weiß nicht recht, ob Sie damit einverstanden sind, daß ich unserem Freund Rutherford an dieser Stelle etwas zu Hilfe komme? Daß ich mich als Deus ex machina mit den Erkenntnissen des Jahres 1934 in Lord Rutherfords Arbeitszimmer begebe und ihm ein paar Ratschläge gebe?"

„Bitte — was würden Sie tun?"

„Nun, ich würde ihm eine Schachtel mit Neutronen überreichen." „Neutronen?" „Ja, Chadwick hat im Jahre 1932 entdeckt, daß es Neutronen in der Welt gibt. Es sind kleine, elektrisch neutrale Teilchen, die ungefähr das gleiche Gewicht wie das Proton haben.

Es mag sein, daß Rutherford erst zweifelnd, dann begeistert von der neuen Möglichkeit, sich daran gemacht hätte — selber



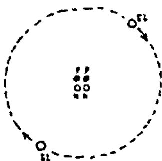
Neutronen zu fabrizieren. Er führt ein Elektron und ein Proton ganz eng zusammen — man hört ein leises ‚Klick!', als wenn man einen Druckknopf zuknöpft; und nun bleiben die beiden ständig vereinigt. Positive und negative Ladung sind gegeneinander abgesättigt. Das Paar wirkt nach außen elektrisch neutral. Sein Gewicht ist ungefähr gleich dem des Protons — denken Sie daran, daß das Elektron 2000mal leichter als das Proton ist, also zum Gewicht so gut wie nichts beisteuert — es ist ein Neutron, würde Chadwick sagen.

Die Existenz der Neutronen ist nicht zu bestreiten. Möglich ist es schon, daß ein Neutron wirklich zusammengesetzt ist — aus



Spiralnebel NGC 3031 im Großen Bären

ganzen Kern zusammenhalten würden. Kompliziert genug blieb der Helium-Kern, der also nun zwei Protonen und zwei Neutronen enthielt. Immerhin, die anfänglichen Schwierigkeiten waren überwunden. Und so nahm er denn zwei Elektronen und versetzte sie mit der gleichen unnachahmlichen Handbewegung wie vorher in rasche kreisende Bewegung um den Kern. Da lief es hin, das Helium-Modell. Gewicht 4, wie verlangt. Zwei Außen-Elektronen — also im Höchstfall zwei fehlende negative Ladungen, wie es beobachtet war. Es gefiel ihm ausnehmend gut.



Der Weg war nunmehr frei — der Weg zum Aufbau der Welt. Der Gedanke, daß der Helium-Kern trotz seiner zweifellos enormen Widerstandsfähigkeit und Stabilität ein wieder zusammengesetztes Gebilde ist, war entscheidend. Schritt für Schritt erledigte jetzt der Forscher die weiteren Elemente. Er spielte und jonglierte mit Protonen, Neutronen und Elektronen, aber im Grunde war das Verfahren höchst einfach. Bei jedem folgenden Element kam ein neues Außen-Elektron hinzu — entsprechend wuchs bei jedem neuen Element die Zahl der Protonen im Kern um eins. Außerdem aber enthielten die Kerne in steigender Anzahl Neutronen, denn das Atomgewicht wächst zunächst doppelt so schnell wie die Anzahl der Außen-Elektronen, später sogar noch rascher. Das Element von der Ordnungszahl 6 z. B. (sechs kreisende, fast gewichtlose Außen-Elektronen) hat das Gewicht 12, enthält also zwölf schwere Kugeln im Kern, sechs Protonen und sechs Neutronen.

So saß und baute Sir Ernest seine Welt; und gegen Abend kam er ans Ende. Mit seinen schon geübten Händen fügte er das Monumentalgebäude des letzten Elements, Uran, zusammen. Zweiundneunzig Protonen, hundertsechsundvierzig Neutronen bildeten den feingefügten Kern; zweiundneunzig seifenblasenähnliche Elektronen umgaben dies Kern-Ungetüm in weiten und immer

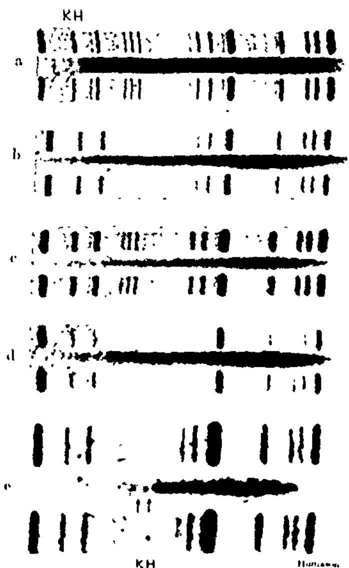
weiteren Abständen, bereit, auf den Wink ihres Schöpfers loszutanzen. Und mit seiner unnachahmlichen Bewegung gab Rutherford den Anstoß zu ihrem Kreislauf, erhob sich und verließ sein Zimmer."

„Ich verstehe eins nicht", warf ich ein. „Weswegen soll gerade der Helium-Kern so wichtig sein?" Statt einer Antwort stand der Hausherr auf und holte eines der dicken Bücher vom Schreibtisch. „Hier sehen Sie die berühmte Tabelle, die auch Rutherford bei seiner Aufbauarbeit vor sich hatte: das periodische System der Elemente. Und jetzt vergleichen Sie die Gewichte von ein paar Elementen:

Laufende Nummer im period. System	9	11	13	15
Element	Fluor	Natrium	Aluminium	Phosphor
Zahl der Protonen (Kernladungszahl)	9	11	13	15
Zahl der Neutronen	10	12	14	16
Atomgewicht: Protonen + Neutronen	19	23	27	31

Es braucht weiter keine Worte — glaube ich —, wenn Sie bedenken, daß das Gewicht des Helium-Kerns 4 ist. Jedes dieser Elemente entsteht durch Anlagerung eines Helium-Kerns aus dem vorigen, dessen Nummer im periodischen System um 2 niedriger ist. In den schwereren Kernen scheinen die Protonen und Neutronen sich gern zu einem Viererverband zusammenzuschließen, zu einem Helium-Kern. Er ist eben ein besonders gut geglücktes, unheimlich zähes Gebilde." Der Erzähler schwieg.

„Und das also wäre die Erschaffung der Welt?" fragte ich. „Ja, nun, wie sie wirklich vor sich ging, können wir natürlich nicht wissen. Es ist schon möglich, daß sich irgendwo in den Tiefen des Raumes einmal die ziellos umherfliegenden Elektronen und Protonen getroffen haben und auf diese Weise vereinigt wurden. Aber das Märchen ist noch nicht zu Ende. Die tragische Verwicklung muß noch kommen. Also hören Sie weiter.



Rotverschiebung

Nebelspektren. Aufnahme mit dem 2½ m-Spiegel

hatten sie es abgesehen —, tanzten noch eine Weile unschlüssig hin und her und empfahlen sich dann. Sie suchten das Weite. Zurück blieb ein Gebilde mit sechsundachtzig Kreisel-Elektronen und vom Gewicht 222. Und Sir Ernest, der auf den Krach hereinstürzte, sprach streng: ‚Wo kommt die Radium-Emanation her' — denn so hatte er ein Atom vom Gewicht 222 und mit sechsundachtzig Elektronen genannt — ‚und wo ist mein Radium hingekommen?' Ja, wo war das Radium?

Es war zerfallen! Es war von sich aus, spontan, ohne daß einer wußte, wie, zerfallen und hatte sich in ein anderes Element umgewandelt. Denn daran war kein Zweifel: das Zerfallsprodukt war ein genau so gutes Radium-Emanation-Atom, wie es Sir Ernest je selbst hergestellt hatte.

Und das Radium hatte nur das Signal gegeben!

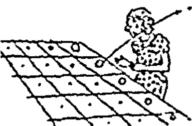
Erschöpft und entsetzt sank Rutherford auf einen Stuhl. Ach, er hatte seine Elemente so fein säuberlich in das periodische System eingeordnet, aber nun war der Teufel los. Die leichten zwar verhielten sich normal. Aber die schweren, alle die, welche die Chemie unter dem Namen radioaktive Elemente kennt, waren nicht zu halten. Aus ihren Kernen lösten sich die α-Teilchen, die Helium-Kerne — und schon rutschte das Element, dank seiner um zwei Protonen geringeren Ladung, um zwei Stellen nach links im periodischen System.

Oder sie schossen mit großer Verve ein Elektron aus dem Kern heraus, einen β-Teil. Wo aber kam das Elektron her? Wahrscheinlich war ein Neutron plötzlich in Proton und Elektron zerfallen und hatte das Elektron aus dem Kern verstoßen. Das flüchtende Elektron trug seine negative Ladung aus dem Kern hinaus; die andere *Hälfte* des zerfallenen Neutrons, das Proton, blieb zurück. Das heißt aber: Die Protonenzahl, die Kernladungszahl und daher die Nummer im periodischen System, war durch den Zerfall um 1 gestiegen, und somit sprang das Element in den Kasten rechts nebenan. Zum Ausgleich wurde schließlich noch ein zufällig vorbeikommendes Elektron

Rutherford war hinter die Schliche der Natur gekommen und hatte ihre Stoffe nachgebaut. Sie alle waren aus den drei Serien: aus Protonen, Neutronen und Elektronen geformt. Jedes Element hat zwei Bestimmungszahlen: Sein Gewicht — gegeben durch die Summe der Neutronen und Protonen im Kern. Und die Ordnungszahl — es ist die Zahl der Protonen allein; die Kernladungszahl.

Und nach dem ganzen Bauplan Rutherfords können wir nicht zweifeln, welche Zahl ihm wichtiger sein mußte. Die Kernladungszahl ist das ordnende Prinzip. Ein Element, das sechs Protonen in seinem Kern aufweist und demgemäß von sechs Elektronen umtanzt wird, bekommt die Stelle 6 des periodischen Systems zugewiesen und wird Kohlenstoff genannt. Demgegenüber trat jetzt das Gewicht der Atome an Bedeutung zurück, obwohl Mendelejeff und Meyer mit seiner Hilfe erst das periodische System gefunden hatten.

Da lagen nun die Modelle der Elemente in ihrem schönen, kunstvollen Aufbau nebeneinander, vom Wasserstoff zum Uran, die ganze Reihe der zweiundneunzig. Plötzlich öffnete sich die Tür, und herein trat Mary Ann, das jüngste Kind der Familie. Voll Staunen beobachtete sie die kreisenden und wirbelnden Gebilde, und neugierig beugte sie sich über ein besonders schönes und großes, das Element Nr. 88, Gewicht 226, das Radium. Und dann geschah etwas Schreckliches. Mit einem plötzlichen Ruck löste sich aus dem komplizierten Gefüge ein Helium-Kern heraus, schoß mit ungeheurer Wucht direkt über dem Ohr des Kindes hinweg, quer durch den hohen Raum, und prallte gegen die Tafel des periodischen Systems, die dort an der Wand hing. Sie stürzte mit lautem Poltern zu Boden. Die beiden äußersten, schillernden Elektronen des Radiums, die nunmehr des Gegengewichts im Kern beraubt waren — denn gerade auf die zwei positiven Ladungen des ausgerissenen Helium-Kerns



halten sie es abgesehen —, tanzten noch eine Weile unschlüssig hin und her und empfahlen sich dann. Sie suchten das Weite. Zurück blieb ein Gebilde mit sechsundachtzig Kreisel-Elektronen und vom Gewicht 222. Und Sir Ernest, der auf den Krach hereinstürzte, sprach streng: ‚Wo kommt die Radium-Emanation her' — denn so hatte er ein Atom vom Gewicht 222 und mit sechsundachtzig Elektronen genannt — ‚und wo ist mein Radium hingekommen?' Ja, wo war das Radium?

Es war zerfallen! Es war von sich aus, spontan, ohne daß einer wußte, wie, zerfallen und hatte sich in ein anderes Element umgewandelt. Denn daran war kein Zweifel: das Zerfallsprodukt war ein genau so gutes Radium-Emanation-Atom, wie es Sir Ernest je selbst hergestellt hatte.

Und das Radium hatte nur das Signal gegeben!

Erschöpft und entsetzt sank Rutherford auf einen Stuhl. Ach, er hatte seine Elemente so fein säuberlich in das periodische System eingeordnet, aber nun war der Teufel los. Die leichten zwar verhielten sich normal. Aber die schweren, alle die, welche die Chemie unter dem Namen radioaktive Elemente kennt, waren nicht zu halten. Aus ihren Kernen lösten sich die α-Teilchen, die Helium-Kerne — und schon rutschte das Element, dank seiner um zwei Protonen geringeren Ladung, um zwei Stellen nach links im periodischen System.

Oder sie schossen mit großer Verve ein Elektron aus dem Kern heraus, einen β-Teil. Wo aber kam das Elektron her? Wahrscheinlich war ein Neutron plötzlich in Proton und Elektron zerfallen und hatte das Elektron aus dem Kern verstoßen. Das flüchtende Elektron trug seine negative Ladung aus dem Kern hinaus; die andere Hälfte des zerfallenen Neutrons, das Proton, blieb zurück. Das heißt aber: Die Protonenzahl, die Kernladungszahl und daher die Nummer im periodischen System, war durch den Zerfall um 1 gestiegen, und somit sprang das Element in den Kasten rechts nebenan. Zum Ausgleich wurde schließlich noch ein zufällig vorbeikommendes Elektron

Radium-Zerfall:
(Halbwertzeiten)

Radium
1580 Jahre
↓ α
Radium-Emanation
3,85 Tage
↓ α
Radium A
3,05 Min.
↓ α
Radium B
26,8 Min.
↓ $\beta\gamma$
Radium C
19,5 Min.
↙ $\beta\gamma$ — α ↘

Rad. C'	**Rad. C''**
millionstel Sek.	1,32 Min.

α ↘ — ↙ $\beta\gamma$
Radium D
16 Jahre
↓ $\beta\gamma$
Radium E
4,85 Tage
↓ $\beta\gamma$
Radium F
(Polonium)
136,5 Tage
↓ α
Radium G
(Blei)
stabil

eingefangen und in die äußere Hülle eingereiht. Und zu allem Überfluß feuerten manche dieser Burschen nach dem Zerfall mit höhnischem Grinsen noch rasch eine Art Röntgenstrahl in die Gegend, eine γ-Strahlung. Nein, friedlich sah die Lage nicht aus.

Aber langsam beruhigte sich Rutherford. Gewiß, es war schon ein tolles Hinundhergerutsche, aber immerhin, abgesehen von dieser ärgerlichen Unzuverlässigkeit waren die Radium-Elemente durchaus brauchbare Gesellen. Und dann sah er, wie sich die Emanation nach einer Reihe von weiteren Sprüngen in das Element 82 verwandelte und dort zur Ruhe kam. E 82 — das war Blei. Hier schien der Endpunkt zu sein. Denn so viel war ja sicher: es handelte sich immer um einen Zerfall, einen Abbau der Kerne, niemals um einen Aufbau, und nachdem sie über viele Zwischenstufen gegangen waren und ihre α- und β- und γ-Strahlungen hinausgeschickt hatten, mündeten sie alle in das Element 82 — sie wurden zu Blei. Das Blei aber blieb stabil. Damit war etwas Endgültiges erreicht. Mit der letzten Verwandlung zu Blei waren die Verirrungen zu Ende. Blei blieb Blei. Es gab da aber noch eine leichte Schwierigkeit zu klären. Das Radium-Blei war leichter als gewöhnliches — es wog statt 207,2 nur 206. Das störte Sir Ernest zunächst, und er sandte eine Probe des Metalls an seinen Freund, den Chemiker, mit der Bitte um Untersuchung. Die Antwort kam rasch. Es war ohne Zweifel Blei. Sein Freund konnte mit allen chemischen

Kunstgriffen keinen Unterschied außer der Gewichtsdifferenz finden. Und er schlug vor, die beiden Bleie ‚Isotope' zu nennen, das heißt Gleichstellige; denn sie mußten offenbar an der gleichen Stelle im periodischen System stehen, bei Nr. 82. Rutherford war einverstanden.

Die Frage der Isotope — dieser Geschöpfe gleicher Kernladung aber verschiedenen Gewichts also — mußte sowieso geklärt werden, und dies beseitigte die letzten Zweifel. So, wie wir den Aufbau der Elemente geschildert haben, können wir, ja müssen wir erwarten, daß alle Atomgewichte ganze Zahlen sind. Aber da ist zum Beispiel das Chlor mit dem Atomgewicht 35,5. Eine harte Nuß. Man kann ja kaum annehmen, daß der Chlor-Kern fünfunddreißig und fünf zehntel Protonen und Neutronen enthält. Man hat nun zwei verschiedene Chlor-Isotope gefunden, Chlor-Zwillinge sozusagen, die sich im Aussehen und in allen physikalischen und chemischen Reaktionen durchaus nicht unterscheiden lassen; nur eben ihr Gewicht ist verschieden, das eine wiegt 35, das andere 37. Überall, wo wir Chlor antreffen, finden wir Vertreter beider Arten, immer im gleichen Verhältnis (3:1) gemischt, und so ergibt sich das rätselhafte Gewicht 35,5 einfach als Mischresultat.

Alle Elemente stellen sich heute als Gemisch verschiedener Isotopen heraus. Neon zum Beispiel, das rot leuchtende Edelgas, hat die Isotope 20 und 22; und im letzten Jahr hat G. Hertz in Charlottenburg durch monatelanges Pumpen mit einer Batterie von sechsunddreißig Quecksilberpumpen diese beiden verschieden schweren Gase wirklich trennen können und so den einwandfreien praktischen Beweis für die Theorie erbracht, wenn er überhaupt nötig war. Nicht einmal der Wasserstoff blieb davon verschont. Auf 5000 gewöhnliche Wasserstoff-Atome kommt immer ein Atom vom Gewicht 2 — ein ‚schwerer' Wasserstoff, der, mit Sauerstoff vereinigt, das vielbesprochene ‚schwere Wasser' bildet.

Der Isotopen-Jäger der Physik ist Aston, ein Engländer. Er schickt die Atome durch ein elektrisches und ein magnetisches Feld,

Radium-Zerfall:
(Halbwertzeiten)

Radium
1580 Jahre
↓ α
Radium-Emanation
3.85 Tage
↓ α
Radium A
3.05 Min.
↓ α
Radium B
26.8 Min.
↓ βγ
Radium C
19.5 Min.
↙ βγ   α ↘
Rad. C′ — millionstel Sek.   Rad. C″ — 1.32 Min.
α ↘   ↙ βγ
Radium D
16 Jahre
↓ βγ
Radium E
4.85 Tage
↓ βγ
Radium F
(Polonium)
136.5 Tage
↓ α
Radium G
(Blei)
stabil

eingefangen und in die äußere Hülle eingereiht. Und zu allem Überfluß feuerten manche dieser Teilchen nach dem Zerfall mit höhnischem Grinsen noch rasch eine Art Röntgenstrahl in die Gegend, eine γ-Strahlung. Nein, friedlich sah die Lage nicht aus.

Aber langsam beruhigte sich Rutherford. Gewiß, es war schon ein tolles Hinundhergerutsche, aber immerhin, abgesehen von dieser ärgerlichen Unzuverlässigkeit waren die Radium-Elemente durchaus brauchbare Gesellen. Und dann sah er, wie sich die Emanation nach einer Reihe von weiteren Sprüngen in das Element Ra verwandelte und dann zur Ruhe kam. E Ra — das war Blei. Hier schien der Endpunkt zu sein. Denn so viel war ja sicher: es handelte sich immer um einen Zerfall, einen Abbau der Kerne, niemals um einen Aufbau, und nachdem sie über viele Zwischenstufen gegangen waren und ihre α- und β- und γ-Strahlungen hinausgeschickt hatten, mündeten sie alle in das Element Ra — sie wurden zu Blei. Das Blei aber blieb stabil. Damit war etwas Endgültiges erreicht. Mit der letzten Verwandlung zu Blei waren die Verirrungen zu Ende. Blei blieb Blei.

Es gab da aber noch eine leichte Schwierigkeit zu klären. Das Radium-Blei war leichter als gewöhnliches — es wog statt 207,2 nur 206. Das störte Sir Ernest zunächst, und er sandte eine Probe des Metalls an seinen Freund, den Chemiker, mit der Bitte um Untersuchung. Die Antwort kam rasch. Es war ohne Zweifel Blei. Sein Freund konnte mit allen chemischen

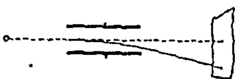
Kunstgriffen keinen Unterschied außer der Gewichtsdifferenz finden. Und er schlug vor, die beiden Bleie ‚Isotope' zu nennen, das heißt Gleichstellige; denn sie mußten offenbar an der gleichen Stelle im periodischen System stehen, bei Nr. 82. Rutherford war einverstanden.

Die Frage der Isotope — dieser Geschöpfe gleicher Kernladung aber verschiedenen Gewichts also — mußte sowieso geklärt werden, und dies beseitigte die letzten Zweifel. So, wie wir den Aufbau der Elemente geschildert haben, können wir, ja müssen wir erwarten, daß alle Atomgewichte ganze Zahlen sind. Aber da ist zum Beispiel das Chlor mit dem Atomgewicht 35,5. Eine harte Nuß. Man kann ja kaum annehmen, daß der Chlor-Kern fünfunddreißig und fünf zehntel Protonen und Neutronen enthält. Man hat nun zwei verschiedene Chlor-Isotope gefunden, Chlor-Zwillinge sozusagen, die sich im Aussehen und in allen physikalischen und chemischen Reaktionen durchaus nicht unterscheiden lassen; nur eben ihr Gewicht ist verschieden, das eine wiegt 35, das andere 37. Überall, wo wir Chlor antreffen, finden wir Vertreter beider Arten, immer im gleichen Verhältnis (3:1) gemischt, und so ergibt sich das rätselhafte Gewicht 35,5 einfach als Mischresultat.

Alle Elemente stellen sich heute als Gemisch verschiedener Isotopen heraus. Neon zum Beispiel, das rot leuchtende Edelgas, hat die Isotope 20 und 22; und im letzten Jahr hat G. Hertz in Charlottenburg durch monatelanges Pumpen mit einer Batterie von sechsunddreißig Quecksilberpumpen diese beiden verschieden schweren Gase wirklich trennen können und so den einwandfreien praktischen Beweis für die Theorie erbracht, wenn er überhaupt nötig war. Nicht einmal der Wasserstoff blieb davon verschont. Auf 5000 gewöhnliche Wasserstoff-Atome kommt immer ein Atom vom Gewicht 2 — ein ‚schwerer' Wasserstoff, der, mit Sauerstoff vereinigt, das vielbesprochene ‚schwere Wasser' bildet.

Der Isotopen-Jäger der Physik ist Aston, ein Engländer. Er schickt die Atome durch ein elektrisches und ein magnetisches Feld,

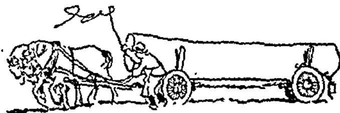
in dem sie zur Seite abgelenkt, gewissermaßen aus der Richtung geblasen werden, und läßt sie dann auf eine Fotoplatte fallen, wo sie einen schwarzen Strich hervorrufen. Nun, leichte Atome werden



natürlich stärker abgelenkt, wie eine geworfene Papierkugel vom Sturmwind eher zur Seite geblasen wird als ein Feldstein; und demgemäß ist der Strich der leichten Isotope dann weiter zur Seite geschoben. Kein Isotop der Erde kann sich vor Aston verstecken!

Rutherford aber, um zu ihm zurückzukehren, sah, daß seine anfänglichen Befürchtungen übertrieben waren. Es war schon alles in bester Ordnung. Gewiß, manche der schweren Elemente hatten die rätselhafte Eigenschaft, spontan unter Strahlung zu zerfallen; ihre komplizierten Kerne waren offensichtlich nicht stabil genug. Aber der chemische und physikalische Charakter eines Elements war eindeutig durch die Kernladungszahl, die Zahl der Protonen und die normalerweise gleiche Zahl der Außen-Elektronen bestimmt. Wie gesagt: Die Kernladung war das ordnende Prinzip, sie bestimmte den Platz im periodischen System. Jetzt nachträglich stellte sich das Gewicht der Atome als untergeordnet und halb zufällig heraus. Und so endet dies Märchen, das so gefährlich schien, schließlich als ein Triumph der Wissenschaft, und auch das Verbrecheralbum der Chemie behält seine Richtigkeit. Aber, bitte, vergessen Sie nicht — dies war ein Märchen, nichts sonst. Noch hat keiner von uns ein Proton gesehen oder in der Hand gehabt!"

Der Gelehrte verstummte und blickte dem gewundenen, dünnen Rauchfaden nach, der aus seiner Pfeife emporstieg und sich im Dunkel des Raumes verlor und auflöste. Lange schwiegen wir beide. Ich kam von dem sonderbaren Bild nicht los, das er mir gegeben hatte, von dem Bild einer ‚leeren Materie' . . .



RICHTUNG DES WELTGESCHEHENS

Zischend strömt weißer Dampf aus. Der Lokomotivführer legt den Hebel um. Mit Stöhnen und Ächzen zieht die schwere D-Zug-Maschine an. Ganz langsam gleitet die lange Wagenreihe aus der Halle, beschleunigt die Fahrt und entschwindet in der Kurve dem Blick.

Warum eigentlich fährt der Zug so langsam an? Warum jagt er nicht sofort mit 70 km/Std davon? Der Grund liegt in der Massenträgheit. Man braucht Kraft, um einen schweren Wagen in Gang zu bringen. Einmal in Bewegung, rollt er wie von selbst. Jeder Körper wünscht die Geschwindigkeit, die er einmal hat, unverändert beizubehalten — und sei es die „Geschwindigkeit Null", die Ruhe. Dies Gesetz heißt das Trägheitsgesetz — es zuerst erkannt zu haben ist eins der entscheidenden Verdienste Galileis. Ein Koffer, der bei plötzlichem Bremsen aus dem Gepäcknetz fällt, handelt nicht aus böser Absicht. Er befolgt einfach das Trägheitsgesetz.

Aber warum fuhr der Zug überhaupt an? Der Lokomotivführer hat durch den Griff am Regulatorhebel hochgespannten Dampf in den Zylinder eintreten lassen. Nun drückt der Dampf gegen Wand und Kolben. 0 000000000000000000000028 Gramm wiegt ein Wasserdampf-Molekül. Stieße ein einzelnes Molekül gegen den großen Kolben einer D-Zug-Lokomotive, er würde sich nicht rühren.

Gewiß, nicht ein Molekül und auch nicht 10000, sondern Billionen und Quadrillionen sind im Zylinder eingesperrt, prallen gegen den Kolben und fliegen zurück. Aber alle zusammen wiegen noch kein Kilogramm. Es muß noch etwas anderes dabei sein. Der Druck? Nur — wie kommt der Druck zustande?

Energie und Impuls

Eine Gewehrkugel wiegt wenige Gramm, und wenn wir sie auf den Boden fallen lassen, geschieht ihr nichts. Aber schießen wir sie mit ihren 800 m/sec Anfangsgeschwindigkeit gegen eine Panzerplatte oder einen Stein, so wird sie plattgequetscht, als hätte man sie mit dem Kruppschen Dampfhammer bearbeitet. Sie hat sich durch ihre eigene Geschwindigkeit breitgequetscht.

Die Energie, die die Pulvergase entwickeln, um die Kugel zu beschleunigen, aus der Ruhe in Bewegung zu bringen, führt die Kugel gewissermaßen mit sich, und sie kann dieselbe Energie wieder abgeben, wenn sie angehalten wird. Jeder, der einmal eine Luftdruckpistole gespannt hat, merkt die nicht unbeträchtliche Energie, die er dabei aufstapelt und die beim Schuß frei wird. Und wirklich hat in letzter Zeit ein Physiker, freilich zu anderen Zwecken, den Versuch unternommen, diese Energie wiederzugewinnen. Er schießt eine Kugel in einen zweiten Gewehrlauf hinein; wegen der Elastizität der zusammengepreßten Luft wird sie mit fast der gleichen Geschwindigkeit wieder zurückgeschleudert und pendelt so zwischen beiden Läufen hin und her, bis die Reibungsverluste das Spiel beendigen. In diesem sozusagen handgreiflichen Fall macht es wohl niemandem Schwierigkeiten, die Erhaltung der Energie zu verfolgen. Man kann ja beinahe mitspüren, wie sich die Energie der gespannten Luft — potentielle Energie nennen wir sie — stetig, wenn auch sehr schnell, im Bruchteil einer Sekunde, in Bewegungsenergie, „kinetische Energie" des Geschosses umwandelt.

Wir alle haben ein Gefühl dafür, was wir unter Energie der Kugel zu verstehen haben; aber der Physiker hat nicht nur ein

Gefühl dafür, er hat für die Energie auch eine Gleichung, und er schreibt:

Energie = ½ × Masse × Geschwindigkeit × Geschwindigkeit. Ein rascher Läufer auf der Aschenbahn legt zehn Meter in der Sekunde zurück; wenn er hundert Kilogramm wiegt, beträgt also seine Bewegungsenergie ½ × 100 × 10 × 10 = 5000 ‚Joule', wie man die Einheit der Energie nennt. Die Energie würde reichen, 500 kg einen Meter hoch zu heben (ein Motor, der sekundlich die gleiche Energiemenge erzeugt, leistet 7 PS). Könnte der Läufer doppelt so schnell laufen, so würde sich seine Energie vervierfachen: ½ × 100 × 20 × 20 = 20000 Joule. Man sieht, die Sportler leisten nicht unbeträchtliche Arbeit!

Es gibt einen zweiten nützlichen Begriff: Impuls. Auch er wird durch eine einfache Gleichung definiert: Impuls = Masse × Geschwindigkeit. Der oben erwähnte Läufer hat den Impuls 100 × 10 = 1000, und auch der Impuls hängt von der Geschwindigkeit ab. Wenn der rasch einherbrausende Sportler unvermutet einen Kollegen anrempelt, ihn unsanft zur Seite stößt und seinerseits dabei abgebremst wird, so mag das für die Beteiligten ein unangenehmer Zwischenfall sein. Der Physiker stellt bloß fest, daß der Läufer bei dem Stoß seinen Impuls zum Teil auf den Freund übertragen hat. Er hat etwas Geschwindigkeit verloren und damit nun einen kleineren Impuls als zuvor; der Freund aber hat unfreiwillig etwas Impuls geschenkt bekommen — er, der vorher stillstand, hat nach dem Stoß ein wenig Geschwindigkeit.



Es hat lange gedauert, bis man *lernte*, Impuls und Energie auseinanderzuhalten; Newton und Leibniz, die beide etwas von Physik verstanden haben *sollen*, haben sich jahrelang um die Bedeutung dieser beiden Größen gestritten, und sie haben im Grunde die ganze Zeit aneinander vorbeigeredet.

Gewiß, nicht ein Molekül und auch nicht 10000, sondern Billionen und Quadrillionen sind im Zylinder eingesperrt, prallen gegen den Kolben und fliegen zurück. Aber alle zusammen wiegen noch kein Kilogramm. Es muß noch etwas anderes dabei sein. Der Druck? Nur — wie kommt der Druck zustande?

Energie und Impuls

Eine Gewehrkugel wiegt wenige Gramm, und wenn wir sie auf den Boden fallen lassen, geschieht ihr nichts. Aber schießen wir sie mit ihren 800 m/sec Anfangsgeschwindigkeit gegen eine Panzerplatte oder einen Stein, so wird sie plattgequetscht, als hätte man sie mit dem Kruppschen Dampfhammer bearbeitet. Sie hat sich durch ihre eigene Geschwindigkeit breitgequetscht.

Die Energie, die die Pulvergase entwickeln, um die Kugel zu beschleunigen, aus der Ruhe in Bewegung zu bringen, führt die Kugel gewissermaßen mit sich, und sie kann dieselbe Energie wieder abgeben, wenn sie angehalten wird. Jeder, der einmal eine Luftdruckpistole gespannt hat, merkt die nicht unbeträchtliche Energie, die er dabei aufstapelt und die beim Schuß frei wird. Und wirklich *hat in letzter Zeit ein Physiker, freilich zu anderen Zwecken,* den Versuch unternommen, diese Energie wiederzugewinnen. Er schießt eine Kugel in einen zweiten Gewehrlauf hinein; wegen der Elastizität der zusammengepreßten Luft wird sie mit fast der gleichen Geschwindigkeit wieder zurückgeschleudert und pendelt so zwischen beiden Läufen hin und her, bis die Reibungsverluste das Spiel beendigen. In diesem sozusagen handgreiflichen Fall macht es wohl niemandem Schwierigkeiten, die Erhaltung der Energie zu verfolgen. Man kann ja beinahe mitspüren, wie sich die Energie der gespannten Luft — potentielle Energie nennen wir sie — stetig, wenn auch sehr schnell, im Bruchteil einer Sekunde, in Bewegungsenergie, ‚kinetische Energie' des Geschosses umwandelt.

Wir alle haben ein Gefühl dafür, was wir unter Energie der Kugel zu verstehen haben; aber der Physiker hat *nicht* nur ein

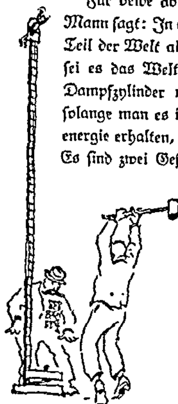
dem Hammer auf den Fuß geschlagen hätte — quantitativ dieselbe Wirkung! Aber offenbar waren ihm die Erhaltungssätze unbekannt.

Was ist Wärme?

Nun — um zum Thema zurückzukehren — begreifen wir, woher der Druck kommt. Er ist ein Geschöpf der Geschwindigkeit. Die Gasmoleküle haben Geschwindigkeiten, die der Gewehrkugel ungefähr gleichkommen — mehrere hundert Meter in der Sekunde legen sie zurück. So kann der Impuls trotz des geringen Gewichts ziemlich beachtliche Werte annehmen und jedes Gasmolekül überträgt seinen Impuls auf den Kolben, wenn es dort auftrifft und zurückgestoßen wird. Die Summe der in der Sekunde übertragenen Impulse, dieses ständige, prasselnde *Trommelfeuer wirkt*, grob gesehen, wie ein unwiderstehlicher Druck, und seufzend setzt sich der Kolben in Bewegung. Der Kolben sammelt Pfennigstücke ein, lächerliche geringfügige Summen — aber er sammelt fleißig und unentwegt; und jedes der Quadrillionen von Molekülen tut im Laufe einer Sekunde nicht einmal, sondern viele hundert Male etwas in seine Büchse. So kommt schließlich ein beträchtlicher Betrag zusammen, ein Druck von ein paar tausend Kilogramm, genug, um einen ganzen D-Zug zu bewegen.

Es ist eine alte Erfahrung, daß durch Erhitzen der Druck steigt. Die Masse der Moleküle kann dabei offenbar nicht zunehmen; aber ihre Geschwindigkeit und damit ihre Wucht kann wachsen — und zu diesem Schluß kamen auch die berühmten deutschen Physiker Volkmann und Clausius: Durch Erhöhung der Temperatur steigt die Geschwindigkeit der Moleküle. *Mit großer Kühnheit* gingen sie noch einen Schritt weiter und sagten: Die beiden Begriffe *sind nicht zu trennen. Was wir* Wärme nennen, ist nichts anderes als die kinetische Energie der Moleküle. Erhitzen bedeutet Steigern der kinetischen Energie, d. h. der Geschwindigkeit; Abkühlen bedeutet Verlangsamung der Moleküle.

— — — *bleiben erhalten!*



Für beide aber gelten die ‚Erhaltungssätze', wie der feine Mann sagt: In einem abgeschlossenen System, in irgendeinem Teil der Welt also, auf den von außen nicht eingewirkt wird, sei es das Weltall oder das Sonnensystem oder auch der Dampfzylinder mit den Wasserdampf-Molekülen, bleiben, solange man es in Frieden läßt, Gesamtimpuls und Gesamtenergie erhalten, sie wachsen nicht und nehmen auch nicht ab. Es sind zwei Gesetze, die immer und überall in der Physik zugrunde gelegt werden, Dogmen, unangreifbare Wahrheiten. Wie in einem Land, dessen Grenzen gesperrt sind, das Gesamtvermögen erhalten bleibt, wenn auch ständig das Geld von einem Einwohner zum anderen wandern mag: so können auch Energie und Impuls immer wieder neu aufgeteilt werden; aber der Gesamtbetrag ändert sich nicht, solange keine Anleihe von außen hereinkommt — solange das System eben abgeschlossen ist.

Neulich erlebte ich auf dem Jahrmarkt, wie ein kräftiger Bursche sich an der Vorrichtung erprobte, die „Haut den Lukas" heißt. Mit gewaltiger Energie schlug er auf den Klotz, so daß das schwere Eisenstück hochflog, über die Führungsstange hinaus, einen Augenblick in der Luft stillstand — *jetzt hatte es nur noch potentielle Energie!* — und dann rasch hinunterzufallen begann, dem Helden, der selbst über seine Tat erschreckt wie gebannt in die Höhe starrte, genau auf den linken Fuß. Er fluchte ungeheuerlich, wie er so von dannen humpelte; und ich als Physiker war versucht, ihm die Unzweckmäßigkeit seines Vorgehens vorzuwerfen. Er hätte, von geringen Reibungsverlusten abgesehen, genau dieselbe Wirkung erreicht, ohne die verwickelte zweimalige Umwandlung der Energie, wenn er sich direkt mit



dem Hammer auf den Fuß geschlagen hätte — quantitativ dieselbe Wirkung! Aber offenbar waren ihm die Erhaltungssätze unbekannt.

Was ist Wärme?

Nun — um zum Thema zurückzukehren — begreifen wir, woher der Druck kommt. Er ist ein Geschöpf der Geschwindigkeit. Die Gasmoleküle haben Geschwindigkeiten, die der Gewehrkugel ungefähr gleichkommen — mehrere hundert Meter in der Sekunde legen sie zurück. So kann der Impuls trotz des geringen Gewichts ziemlich beachtliche Werte annehmen und jedes Gasmolekül überträgt seinen Impuls auf den Kolben, wenn es dort auftrifft und zurückgestoßen wird. Die Summe der in der Sekunde übertragenen Impulse, dieses ständige, prasselnde Trommelfeuer wirkt, grob gesehen, wie ein unwiderstehlicher Druck, und seufzend setzt sich der Kolben in Bewegung. Der Kolben sammelt Pfennigstücke ein, lächerliche geringfügige Summen — aber er sammelt fleißig und unentwegt; und jedes der Quadrillionen von Molekülen tut im Laufe einer Sekunde nicht einmal, sondern viele hundert Male etwas in seine Büchse. So kommt schließlich ein beträchtlicher Betrag zusammen, ein Druck von ein paar tausend Kilogramm, genug, um einen ganzen D-Zug zu bewegen.

Es ist eine alte Erfahrung, daß durch Erhitzen der Druck steigt. Die Masse der Moleküle kann dabei offenbar nicht zunehmen; aber ihre Geschwindigkeit und damit ihre Wucht kann wachsen — und zu diesem Schluß kamen auch die berühmten deutschen Physiker Boltzmann und Clausius: Durch Erhöhung der Temperatur steigt die Geschwindigkeit der Moleküle. Mit großer Kühnheit gingen sie noch einen Schritt weiter und sagten: Die beiden Begriffe sind nicht zu trennen. **Was wir Wärme nennen, ist nichts anderes als die kinetische Energie der Moleküle.** Erhitzen bedeutet Steigern der kinetischen Energie, d. h. der Geschwindigkeit; Abkühlen bedeutet Verlangsamung der Moleküle.

— — — *bleiben erhalten!*



Für beide aber gelten die „Erhaltungssätze", wie der feine Mann sagt: In einem abgeschlossenen System, in irgendeinem Teil der Welt also, auf den von außen nicht eingewirkt wird, sei es das Weltall oder das Sonnensystem oder auch der Dampfzylinder mit den Wasserdampf-Molekülen, bleiben, solange man es in Frieden läßt, Gesamtimpuls und Gesamtenergie erhalten, sie wachsen nicht und nehmen auch nicht ab. Es sind zwei Gesetze, die immer und überall in der Physik zugrunde gelegt werden, Dogmen, unangreifbare Wahrheiten. Wie in einem Land, dessen Grenzen gesperrt sind, das Gesamtvermögen erhalten bleibt, wenn auch ständig das Geld von einem Einwohner zum anderen wandern mag: so können auch *Energie und Impuls immer wieder neu* aufgeteilt werden; aber der Gesamtbetrag ändert sich nicht, solange keine Anleihe von *außen hereinkommt* — solange das System eben a b g e s c h l o s s e n ist.

Neulich erlebte ich auf dem Jahrmarkt, wie ein kräftiger Bursche sich an der Vorrichtung erprobte, die „Haut den Lukas" heißt. Mit gewaltiger Energie schlug er auf den Klotz, so daß das schwere Eisenstück hochflog, über die Führungsstange hinaus, einen Augenblick in der Luft stillstand — *jetzt hatte es nur noch potentielle Energie!* — und dann rasch hinunterzufallen begann, dem Helden, der selbst über seine Tat erschreckt wie gebannt in die Höhe starrte, *genau auf den linken Fuß.* Er fluchte ungeheuerlich, wie er so von dannen humpelte; und ich als Physiker war versucht, ihm die Unzweckmäßigkeit seines *Vorgehens vorzuwerfen.* Er hätte, von geringen Reibungsverlusten abgesehen, genau dieselbe Wirkung erreicht, ohne die verwickelte zweimalige Umwandlung der Energie, wenn er sich direkt mit



dem Hammer auf den Fuß geschlagen hätte — quantitativ dieselbe Wirkung! Aber offenbar waren ihm die Erhaltungssätze unbekannt.

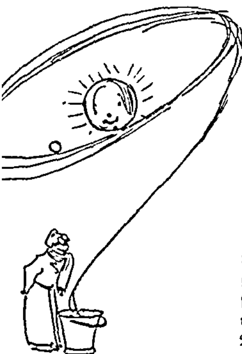
Was ist Wärme?

Nun — um zum Thema zurückzukehren — begreifen wir, woher der Druck kommt. Er ist ein Geschöpf der Geschwindigkeit. Die Gasmoleküle haben Geschwindigkeiten, die der Gewehrkugel ungefähr gleichkommen — mehrere hundert Meter in der Sekunde legen sie zurück. So kann der Impuls trotz des geringen Gewichts ziemlich beachtliche Werte annehmen und jedes Gasmolekül überträgt seinen Impuls auf den Kolben, wenn es dort auftrifft und zurückgestoßen wird. Die Summe der in der Sekunde übertragenen Impulse, dieses ständige, prasselnde Trommelfeuer wirkt, grob gesehen, wie ein unwiderstehlicher Druck, und seufzend setzt sich der Kolben in Bewegung. Der Kolben sammelt Pfennigstücke ein, lächerliche geringfügige Summen — aber er sammelt fleißig und unentwegt, und jedes der Quadrillionen von Molekülen tut im Laufe einer Sekunde nicht einmal, sondern viele hundert Male etwas in seine Büchse. So kommt schließlich ein beträchtlicher Betrag zusammen, ein Druck von ein paar tausend Kilogramm, genug, um einen ganzen D-Zug zu bewegen.

Es ist eine alte Erfahrung, daß durch Erhitzen der Druck steigt. Die Masse der Moleküle kann dabei offenbar nicht zunehmen, aber ihre Geschwindigkeit und damit ihre Wucht kann wachsen — und zu diesem Schluß kamen auch die berühmten deutschen Physiker Boltzmann und Clausius. Durch Erhöhung der Temperatur steigt die Geschwindigkeit der Moleküle. Mit großer Kühnheit gingen sie noch einen Schritt weiter und sagten. Die beiden Begriffe sind nicht zu trennen. **Was wir Wärme nennen, ist nichts anderes als die kinetische Energie der Moleküle.** Erhitzen bedeutet Steigern der kinetischen Energie, d. h. der Geschwindigkeit; Abkühlen bedeutet Verlangsamung der Moleküle.

Eine sonderbare, befremdende Vorstellung, an die man sich erst gewöhnen muß. Aber wirklich, es besteht kein Unterschied. Könnte man ein Maschinengewehr mit Molekülen laden und mit 500 m/sec feuern, so hätte diese Molekül-Schußgarbe eine Temperatur von 25°. Feuerten wir mit 1000 m/sec, so wären es 40°. Freilich, in einem Gas von 25° Temperatur haben beileibe nicht alle Moleküle genau die gleiche Geschwindigkeit von 500 m/sec. Manche haben mehr, manche weniger; nur die mittlere Geschwindigkeit beträgt 500 m/sec — mehr sagen wir nicht.

So weit die ‚kinetische Gas-Theorie'. Sie erklärt alle Eigenschaften der Gase. 606000 Milliarden Milliarden oder 606000 Trillionen Moleküle sind in zwei Gramm Wasserstoffgas enthalten — also in 22 Liter, einem großen Eimer voll ... Es ist schlechterdings unmöglich, sich von derart inflatorischen Zahlen eine Vorstellung zu machen. Aber wenn man aus dem ganzen Erdball Kegelkugeln kneten würde, dann würde etwa dieselbe Zahl herauskommen. Wir pumpen eine Glaskugel aus. Mit unseren besten Pumpen saugen wir die Luft heraus. Das Barometer, das den Druck in der Kugel mißt, fällt — von 760 mm auf 1 mm und bis auf 1 milliontel Millimeter. Ein so ausgepumptes Gefäß ist praktisch luftleer — aber es enthält im Kubikzentimeter immer noch rund zwei Milliarden Moleküle, also etwa ebensoviel, wie es Menschen auf der Erde gibt. Zehn Millionen Wasserstoff-Moleküle aneinandergereiht ergeben ein Millimeter. Würden wir die sämtlichen



Moleküle aus unserem Eimer wie eine Perlenschnur aufziehen können, so erhielten wir einen Faden, der, über 60 Milliarden Kilometer lang, ungefähr siebzigmal um die Erdbahn herumreichen würde. Nur wäre dieser Faden ebenso spinnedünn, daß er aufgeknäult bequem in den Eimer hineinpaßt. Es sind schon Burschen, diese Moleküle! Aber wir wollen trotzdem bis in die Tiefen ihres Daseins hinabsteigen und einmal nach ihren individuellen Lebensäußerungen fahnden.

Der Mikromensch

Eine unglaubwürdige Geschichte

In einem Buch eines Franzosen wird beschrieben, wie ein Mensch durch eine ärztliche Radikalkur weit unter Bazillengröße verkleinert wird, weit, weit unter die Grenze der Sichtbarkeit, noch weit unter die Größe der Moleküle. Das ist uns zuviel. Wir stoppen den Menschen — wollen wir ihn Walter nennen? — bei einigen tausendstel Millimeter Größe ab und warten zu, was aus ihm wird.

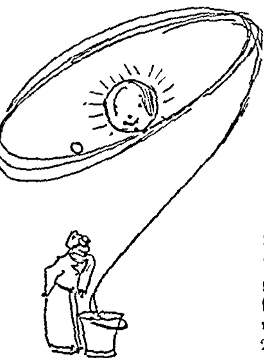
Im hellerleuchteten Kreis des Mikroskops ist Walter deutlich zu sehen. Er schwebt im Raum, in vollendeter Grazie. Ganz langsam, ganz allmählich sinkt er im Gesichtsfeld herunter. Man kann es kaum ein Fallen nennen; für solche Mikrowesen spielt die Reibung in der Luft bereits eine große Rolle, wie denn auch Staubkörnchen oder winzige Papierschnitzel in der Luft ganz langsam herabsinken, weil ihr Gewicht, verglichen mit der Oberfläche, sehr gering ist. Ein leichtes Drehen am Mikrometerknopf, und wir haben ihn wieder scharf im Gesichtsfeld. Aber — er zittert.

„Hast du Angst?" telefonieren wir hinunter. „Deine Furcht ist unbegründet!" „Aber nein", ruft er zurück, „ich zittere gar nicht. Es zittert mich!"

Und so ist es auch. Das ganze winzige Menschenkind saust hin und her, wie von übermächtigen Händen umhergezerrt. In wilder Zickzackbahn, mal herauf, dann herunter, ein paar Sekunden steht es unbeweglich auf einem Fleck still, um dann mit verdoppelter

Eine sonderbare, befremdende Vorstellung, an die man sich erst gewöhnen muß. Aber wirklich, es besteht kein Unterschied. Könnte man ein Maschinengewehr mit Molekülen laden und mit 500 m/sec feuern, so hätte diese Molekül-Schußgarbe eine Temperatur von 25°. Feuerten wir mit 1000 m/sec, so wären es 40°. Freilich, in einem Gas von 25° Temperatur haben beileibe nicht alle Moleküle genau die gleiche Geschwindigkeit von 500 m/sec. Manche haben mehr, manche weniger; nur die mittlere Geschwindigkeit beträgt 500 m/sec — mehr sagen wir nicht.

So weit die ‚kinetische Gas-Theorie'. Sie erklärt alle Eigenschaften der Gase. 606000 Milliarden Milliarden oder 606000 Trillionen Moleküle sind in zwei Gramm Wasserstoffgas enthalten — also in 22 Liter, einem großen Eimer voll . . . Es ist schlechterdings unmöglich, sich von derart inflatorischen Zahlen eine Vorstellung zu machen. Aber wenn man aus dem ganzen Erdball Kegelkugeln kneten würde, dann würde etwa dieselbe Zahl herauskommen. Wir pumpen eine Glaskugel aus. Mit unseren besten Pumpen saugen wir die Luft heraus. Das Barometer, das den Druck in der Kugel mißt, fällt — von 760 mm auf 1 mm und bis auf 1 millionтel Millimeter. Ein so ausgepumptes Gefäß ist praktisch luftleer — aber es enthält im Kubikzentimeter immer noch rund zwei Milliarden Moleküle, also etwa ebensoviel, wie es Menschen auf der Erde gibt. Zehn Millionen Wasserstoff-Moleküle aneinandergereiht ergeben ein Millimeter. Würden wir die sämtlichen



Moleküle aus unserem Eimer wie eine Perlenschnur aufziehen können, so erhielten wir einen Faden, der, über 60 Milliarden Kilometer lang, ungefähr siebzigmal um die Erdbahn herumreichen würde. Nur wäre dieser Faden ebenso spinnedünn, daß er aufgeknäult bequem in den Eimer hineinpaßt. Es sind schon Burschen, diese Moleküle! Aber wir wollen trotzdem bis in die Tiefen ihres Daseins hinabsteigen und einmal nach ihren individuellen Lebensäußerungen fahnden.

Der Mikromensch
Eine unglaubwürdige Geschichte

In einem Buch eines Franzosen wird beschrieben, wie ein Mensch durch eine ärztliche Radikalkur weit unter Bazillengröße verkleinert wird, weit, weit unter die Grenze der Sichtbarkeit, noch weit unter die Größe der Moleküle. Das ist uns zuviel. Wir stoppen den Menschen — wollen wir ihn Walter nennen? — bei einigen tausendstel Millimeter Größe ab und warten zu, was aus ihm wird.

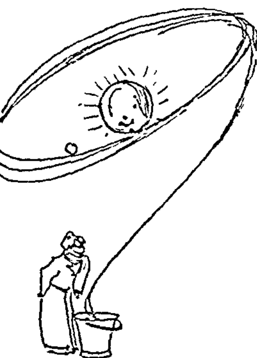
Im hellerleuchteten Kreis des Mikroskops ist Walter deutlich zu sehen. Er schwebt im Raum, in vollendeter Grazie. Ganz langsam, ganz allmählich sinkt er im Gesichtsfeld herunter. Man kann es kaum ein Fallen nennen; für solche Mikrowesen spielt die Reibung in der Luft bereits eine große Rolle, wie denn auch Staubkörnchen oder winzige Papierschnitzel in der Luft ganz langsam herabsinken, weil ihr Gewicht, verglichen mit der Oberfläche, sehr gering ist. Ein leichtes Drehen am Mikrometerknopf, und wir haben ihn wieder scharf im Gesichtsfeld. Aber — er zittert.

„Hast du Angst?" telefonieren wir hinunter. „Deine Furcht ist unbegründet!" „Aber nein", ruft er zurück, „ich zittere gar nicht. Es zittert mich!"

Und so ist es auch. Das ganze winzige Menschenkind saust hin und her, wie von übermächtigen Händen umhergezerrt. In wilder Zickzackbahn, mal herauf, dann herunter, ein paar Sekunden steht es unbeweglich auf einem Fleck still, um dann mit verdoppelter

Eine sonderbare, befremdende Vorstellung, an die man sich erst gewöhnen muß. Aber wirklich, es besteht kein Unterschied. Könnte man ein Maschinengewehr mit Molekülen laden und mit 500 m/sec feuern, so hätte diese Molekül-Schußgarbe eine Temperatur von 25°. Feuerten wir mit 1000 m/sec, so wären es 40°. Freilich, in einem Gas von 25° Temperatur haben beileibe nicht alle Moleküle genau die gleiche Geschwindigkeit von 500 m/sec. Manche haben mehr, manche weniger; nur die **mittlere** Geschwindigkeit beträgt 500 m/sec — mehr sagen wir nicht.

So weit die ‚kinetische Gas-Theorie'. Sie erklärt alle Eigenschaften der Gase. 606000 Milliarden Milliarden oder 606000 Trillionen Moleküle sind in zwei Gramm Wasserstoffgas enthalten — also in 22 Liter, einem großen Eimer voll ... Es ist schlechterdings unmöglich, sich von derart inflatorischen Zahlen eine Vorstellung zu machen. Aber wenn man aus dem **ganzen** Erdball Kegelkugeln kneten würde, dann würde etwa dieselbe Zahl herauskommen. Wir pumpen eine Glaskugel aus. Mit unseren besten Pumpen saugen wir die Luft heraus. Das Barometer, das den Druck in der Kugel mißt, fällt — von 760 mm auf 1 mm und bis auf 1 milliontel Millimeter. Ein so ausgepumptes Gefäß ist praktisch luftleer — aber es enthält im Kubikzentimeter immer noch rund zwei Milliarden Moleküle, also etwa ebensoviel, wie es Menschen auf der Erde gibt. Zehn Millionen Wasserstoff-Moleküle aneinandergereiht ergeben ein Millimeter. Würden wir die sämtlichen



Moleküle aus unserem Eimer wie eine Perlenschnur aufziehen könnten, so erhielten wir einen Faden, der, über 60 Milliarden Kilometer lang, ungefähr sechzigmal um die Erdbahn herumreichen würde. Nun wäre dieser Faden ebenso spinnedünn, daß er aufgeknäult bequem in den Eimer hineinpaßte. Es sind schon Burschen, diese Moleküle! Aber wir wollen trotzdem bis in die Tiefen ihres Daseins hinabsteigen und einmal nach ihren individuellen Lebensäußerungen forschen.

Der Mikromensch

Eine unglaubwürdige Geschichte

In einem Buch eines Franzosen wird beschrieben, wie ein Mensch durch eine ärztliche Radikalkur weit unter Zwerggröße verkleinert wird, weit, weit unter die Grenze der Sichtbarkeit, noch weit unter die Größe der Moleküle. Das ist uns zuviel. Wir stoppen den Menschen — wollen wir ihn Walter nennen? — bei einigen tausendstel Millimeter Größe ab und warten zu, was aus ihm wird.

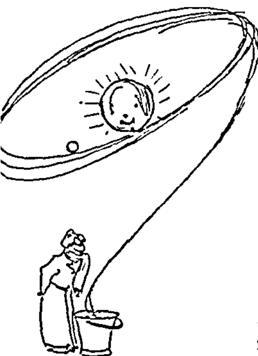
Im hellerleuchteten Kreis des Mikroskops ist Walter deutlich zu sehen. Er schwebt im Raum, in vollendeter Grazie. Ganz langsam, ganz allmählich sinkt er im Gesichtsfeld herunter. Man kann es kaum ein Fallen nennen. Für solche Mikrowesen spielt die Reibung in der Luft bereits eine große Rolle, wie denn auch Staubteilchen oder winzige Puderkügelchen in der Luft ganz langsam herabsinken, weil ihr Gewicht, verglichen mit der Oberfläche, sehr gering ist. Ein leichtes Drehen am Mikrometerknopf, und wir haben ihn wieder scharf im Gesichtsfeld. Aber — er zittert.

„Hast du Angst?" schreien wir hinunter. „Deine Furcht ist unbegründet!" „Aber nein", ruft er zurück, „ich zittere gar nicht. Es zittert mich."

Und so ist es auch. Das ganze winzige Menschenkind saust hin und her, wie von unsichtbaren Händen umhergezerrt. In wilder Zickzackbahn, mal herauf, dann herunter, ein paar Sekunden steht es urplötzlich auf einem Fleck still, um dann mit verdoppelter

Eine sonderbare, befremdende Vorstellung, an die man sich erst gewöhnen muß. Aber wirklich, es besteht kein Unterschied. *Könnte man ein Maschinengewehr mit Molekülen laden und mit 500 m/sec feuern, so hätte diese Molekül-Schußgarbe eine Temperatur* von 25°. Feuerten wir mit 1000 m/sec, so wären es 40°. Freilich, in einem Gas von 25° Temperatur haben beileibe nicht alle Moleküle genau die gleiche Geschwindigkeit von 500 m/sec. Manche haben mehr, manche weniger; nur die *mittlere* Geschwindigkeit beträgt 500 m/sec — mehr sagen wir nicht.

So weit die ‚kinetische Gas-Theorie'. Sie erklärt alle Eigenschaften der Gase. 606000 Milliarden Milliarden oder 606000 Trillionen Moleküle sind in zwei Gramm Wasserstoffgas enthalten — *also in 22 Liter, einem großen Eimer voll ... Es ist schlechterdings* unmöglich, sich von derart inflatorischen Zahlen eine Vorstellung zu machen. Aber wenn man aus dem ganzen Erdball Kegelkugeln kneten würde, dann würde etwa dieselbe Zahl herauskommen. Wir pumpen eine Glaskugel aus. Mit unseren besten Pumpen saugen wir die Luft heraus. Das Barometer, das den Druck in der Kugel mißt, fällt — von 760 mm auf 1 mm und bis auf 1 millionstel Millimeter. Ein so ausgepumptes Gefäß ist praktisch luftleer — aber es enthält im Kubikzentimeter immer noch rund zwei Milliarden Moleküle, also etwa ebensoviel, wie es Menschen auf der Erde gibt. Zehn Millionen Wasserstoff-Moleküle aneinandergereiht ergeben ein Millimeter. Würden wir die sämtlichen



Moleküle aus unserem Eimer wie eine Perlenschnur aufziehen können, so erhielten wir einen Faden, der, über 60 Milliarden Kilometer lang, ungefähr siebzigmal um die Erdbahn herumreichen würde. Nur wäre dieser Faden ebenso spinnedünn, daß er aufgeknäult bequem in den Eimer hineinpaßt. Es sind schon Burschen, diese Moleküle! Aber wir wollen trotzdem bis in die Tiefen ihres Daseins hinabsteigen und einmal nach ihren individuellen Lebensäußerungen fahnden.

Der Mikromensch
Eine unglaubwürdige Geschichte

In einem Buch eines Franzosen wird beschrieben, wie ein Mensch durch eine ärztliche Radikalkur weit unter Bazillengröße verkleinert wird, weit, weit unter die Grenze der Sichtbarkeit, noch weit unter die Größe der Moleküle. Das ist uns zuviel. Wir stoppen den Menschen — wollen wir ihn Walter nennen? — bei *einigen* tausendstel Millimeter Größe ab und warten zu, was aus ihm wird.

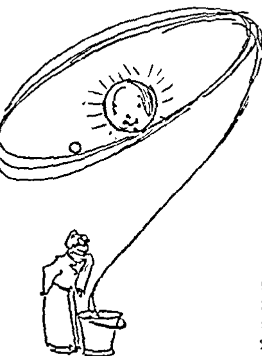
Im hellerleuchteten Kreis des Mikroskops ist Walter deutlich zu sehen. Er schwebt im Raum, in vollendeter Grazie. Ganz langsam, ganz allmählich sinkt er im Gesichtsfeld herunter. Man kann es kaum ein Fallen nennen; für solche Mikrowesen spielt die Reibung in der Luft bereits eine große Rolle, wie denn auch Staubkörnchen oder winzige Papierschnitzel in der Luft ganz langsam herabsinken, weil ihr Gewicht, verglichen mit der Oberfläche, sehr gering ist. Ein leichtes Drehen am Mikrometerknopf, und wir haben ihn wieder scharf im Gesichtsfeld. Aber — er zittert.

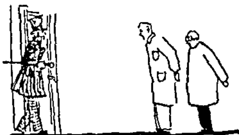
„Hast du Angst?" telefonieren wir hinunter. „Deine Furcht ist unbegründet!" „Aber nein", ruft er zurück, „ich zittere gar nicht. Es zittert mich!"

Und so ist es auch. Das ganze winzige Menschenkind saust hin und her, wie von übermächtigen Händen umhergezerrt. In wilder Zickzackbahn, mal herauf, dann herunter, ein paar Sekunden steht es unbeweglich auf einem Fleck still, um dann mit verdoppelter

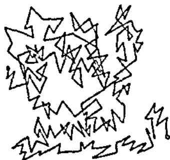
Eine sonderbare, befremdende Vorstellung, an die man sich erst gewöhnen muß. Aber wirklich, es besteht kein Unterschied. Könnte man ein Maschinengewehr mit Molekülen laden und mit 500 m/sec feuern, so hätte diese Molekül-Schußgarbe eine Temperatur von 25°. Feuerten wir mit 1000 m/sec, so wären es 40°. Freilich, in einem Gas von 25° Temperatur haben beileibe nicht alle Moleküle genau die gleiche Geschwindigkeit von 500 m/sec. Manche haben mehr, manche weniger; nur die mittlere Geschwindigkeit beträgt 500 m/sec — mehr sagen wir nicht.

So weit die ‚kinetische Gas-Theorie'. Sie erklärt alle Eigenschaften der Gase. 606000 Milliarden Milliarden oder 606000 Trillionen Moleküle sind in zwei Gramm Wasserstoffgas enthalten — also in 22 Liter, einem großen Eimer voll . . . Es ist schlechterdings unmöglich, sich von derart inflatorischen Zahlen eine Vorstellung zu machen. Aber wenn man aus dem ganzen Erdball Kegelkugeln kneten würde, dann würde etwa dieselbe Zahl herauskommen. Wir pumpen eine Glaskugel aus. Mit unseren besten Pumpen saugen wir die Luft heraus. Das Barometer, das den Druck in der Kugel mißt, fällt — von 760 mm auf 1 mm und bis auf 1 millionstel Millimeter. Ein so ausgepumptes Gefäß ist praktisch luftleer — aber es enthält im Kubikzentimeter immer noch rund zwei Milliarden Moleküle, also etwa ebensoviel, wie es Menschen auf der Erde gibt. Zehn Millionen Wasserstoff-Moleküle aneinandergereiht ergeben ein Millimeter. Würden wir die sämtlichen



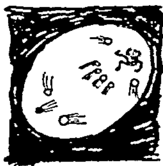


„Und so geht das zu mit ihrem Freund. Spiel des Zufalls! Personifizierter Zufall, wenn Sie wollen. Völlig unberechenbar." Er tritt zurück und nimmt eine Prise. „Na — unberechenbar doch nicht", sagt der Dritte, der die ganze Zeit stumm daneben gesessen hat. „Bedenken Sie doch die Berechnungen Einsteins und v. Smoluchowskys, denken Sie an die kinetische Gastheorie!" „Kenne ich nicht", murrt der Alte. „Kein Wunder, das sind Errungenschaften des letzten halben Jahrhunderts." „Aber wissen Sie überhaupt, Mr. Brown, warum unser Walter so zittert?" „Nun, ich habe so meine Gedanken darüber", meint der Alte vorsichtig und nimmt den angebotenen Sessel an. „Aber was ist das mit der kinetischen Theorie, wie Sie sie zu nennen belieben? Es interessiert mich doch, was die Leute seither mit meiner Entdeckung begonnen haben. Ich habe nicht viel Gelegenheit, davon zu hören." „Nun, wir wissen heute, daß die Brownsche Bewegung, diese ständige Zitterbewegung, die wie das Tanzen der Sonnenstäubchen in einem Lichtstrahl wirkt, durch Stöße der Luftmoleküle zustande kommt." „Moleküle, davon hat mir mein Freund Dalton schon erzählt", unterbricht Mr. Brown. „Er hat also recht behalten! Und was weiter?" „Ich wollte nur sagen — ganz so ‚zufällig' ist mein kleiner Freund da unten nicht. Ich weiß zwar nicht genau, wie er sich in der nächsten Sekunde bewegen wird, aber ich weiß doch, wie groß seine Bewegung im Mittel sein muß. Ich weiß noch mehr. Wenn ich rechts das Gesichtsfeld heize, so wird er langsam nach links



Brownsche Bewegung

Energie plötzlich millimeterweit — man bedenke! — zur Seite zu springen. Es ist wirklich nicht mehr schön, und es ist auch mühselig genug, ihn im Gesichtsfeld zu behalten. „Steh doch still!" rufen wir, etwas ärgerlich schon, aber es hilft alles nichts, Walter schießt umher wie ein Wasserfloh. „Die Moleküle — wißt ihr! Sie lassen mir keine Ruhe. Ich glaube, ich bin am ganzen Körper bereits zerschlagen. Andauernd prasseln sie auf mich ein, mal mehr von oben, mal mehr von unten; mal von allen Seiten zugleich, dann stehe ich still. Und vorhin kam ein ganzer Schwarm von rechts oben und von links zufällig gar keins — habt ihr gesehen, wie es mich herumgeworfen hat? Sie spielen einfach Fußball mit mir."



Ein seltsamer Duft verbreitet sich im Zimmer, nach Schnupftabak und Lavendel. Ein alter, etwas gebeugter Mann, sorgfältig gekleidet, mit grauem Zylinder und wohlgepflegtem Backenbart, schaut uns lächelnd an. Wie, zum Teufel, ist er durch die verschlossene Tür gekommen? „Brown ist mein Name", sagt er. „Botaniker war ich früher einmal — ach, das ist gut hundert Jahre her. Zu Dickens' Zeit."

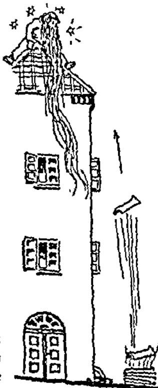
„Brownsche Bewegung?" frage ich zweifelnd. „Ah, sie kennen mich! Um so besser. So ist es. Ich will nicht unbescheiden sein, aber wirklich habe ich schon lange, bevor Sie auf die Welt kamen, diese Zitterbewegung entdeckt."

„Und gibt es gar keine Möglichkeit, unserem Freund zu helfen?"

„Nein — wieso? Meine Sporen und Pflanzensamen haben auch so getanzt und gezittert. Es hat ihnen nichts geschadet. Gar nichts. Darf ich einmal hindurchsehen?" Und er beugt sich über das Mikroskop. „Prächtig", meint er. „Wirklich schön. So gute Mikroskope gab es damals noch nicht." Er wiegt bedächtig den Kopf und richtet sich wieder auf.

Gasreibung. Die Brownsche Bewegung, der mein Genosse da unten unterworfen ist, ist ein Spezialfall, bei dem verhältnismäßig wenig Moleküle beteiligt sind. Daher das scheinbar unmotivierte Verhalten, das wir freilich jetzt auch beherrschen. Wir haben eben den Zufall eingefangen!"

Der Weg der Natur



Und die kinetische Theorie hat uns noch mehr gezeigt: sie hat uns über die Richtung der Naturprozesse belehrt. Es wäre denkbar, daß unser Freund hier im Mikroskop in einem sonderbaren Augenblick fünfundzwanzig Meter weit geschleudert wird, weil ihn zufällig einmal eine große Schar von Molekülen von einer Seite trifft und keins von der anderen. Das wäre denkbar — aber höchst unwahrscheinlich. Es wäre ebenso möglich, daß die vielen kleinen Stöße der Moleküle einmal so ablaufen, daß die Temperaturdifferenz zunimmt, statt zu fallen; daß ein Eisblock Wärme abgibt, um ein glühendes Eisen noch weiter zu erhitzen.

Es wäre möglich, daß ein Ziegelstein von der Straße dem Dachdecker auf dem Dach von selbst in die Hand fliegt — von zufälligen Molekülstößen getrieben. Perrin hat die Wahrscheinlichkeit für dies freudige Erlebnis ausgerechnet. Es ist etwas entmutigend für den Dachdecker, der alt und grau werden würde, sollte er darauf warten. Alle $10^{10\,000\,000\,000}$ Jahre kommt so etwas vor. Das ist eine Zahl mit 10 Milliarden Nullen, sie füllt, ausgeschrieben, 20000 Bücher dieser Größe. Das Alter der Erde

getrieben, denn dann treffen ihn von rechts aus schnellere, energischere Moleküle. Man könnte ihn auch zur Ruhe bringen, wenn man wollte. Man brauchte ihn bloß einzufrieren." „Wie das?" „Sie sehen doch selbst, je wärmer es wird, desto rascher bewegen sich die Moleküle, um so mehr zittert er. Und je tiefer die Temperatur absinkt, wenn ich eine Kältemischung um ihn herumlege, um so langsamer laufen sie. Immer weiter kann die Temperatur sinken — bis schließlich die Energie ganz aufhört, bis die Moleküle ihre Bewegung ganz verloren haben, träge umherschleichen und schließlich stehenbleiben. Dann ist der Endpunkt der Temperatur erreicht, der absolute Nullpunkt, — 273,16° Celsius. Ganz haben wir ihn noch nicht erreicht; können es auch nicht. Eine theoretische Überlegung — der Wärmesatz von Nernst — verbietet das. Aber auf ein paar hundertstel Grad sind wir ihm schon nahe gekommen.

Wie die Moleküle unsern Freund da anstoßen und zum Zittern bringen, so stoßen sie sich auch gegenseitig an. Sie schwärmen umher, tauschen ihre Energie aus, weil die schnelleren den langsameren etwas von ihrem Impuls abgeben, und dies so lange, bis sich alles ausgeglichen hat. Bis die Wärmeleitung aufgehört, bis im Mittel alles gleiche Geschwindigkeit hat — Temperaturausgleich."

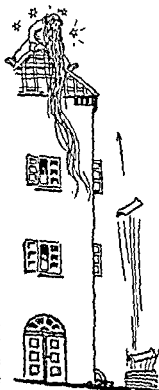
„Wunderbar", meinte der Alte begeistert und beugt sich in seinem Sessel vor. Seine Augen leuchten in jugendlichem Feuer. „Aber sagen Sie mir, was machen Sie sich für spezielle Vorstellungen über die Form der Moleküle, über ihr Aussehen, über das, was im einzelnen bei einem Zusammenstoß vorgeht?" Aber sein Gegenüber winkt ab.

„Sehen Sie — wir arbeiten mit *statistischen Methoden*. Wir wollen gar nicht wissen, was das einzelne Molekül macht, wie der Stoßprozeß im einzelnen aussieht — wir interessieren uns für die große Masse, für den Durchschnitt. Und für das Durchschnittsverhalten des Gases haben wir auf diese Weise genaue Gesetze gefunden. Gesetze der Wärmeleitung, des Drucks, der

Gasreibung. Die Brownsche Bewegung, der mein Genosse da unten unterworfen ist, ist ein Spezialfall, bei dem verhältnismäßig wenig Moleküle beteiligt sind. Daher das scheinbar unmotivierte Verhalten, das wir freilich jetzt auch beherrschen. Wir haben eben den Zufall eingefangen!"

Der Weg der Natur

Und die kinetische Theorie hat uns noch mehr gezeigt: sie hat uns über die Richtung der Naturprozesse belehrt. Es wäre denkbar, daß unser Freund hier im Mikroskop in einem sonderbaren Augenblick fünfundzwanzig Meter weit geschleudert wird, weil ihn zufällig einmal eine große Schar von Molekülen von einer Seite trifft und keins von der anderen. Das wäre denkbar — aber höchst unwahrscheinlich. Es wäre ebenso möglich, daß die vielen kleinen Stöße der Moleküle einmal so ablaufen, daß die Temperaturdifferenz zunimmt, statt zu fallen, daß ein Eisblock Wärme abgibt, um ein glühendes Eisen noch weiter zu erhitzen.



Es wäre möglich, daß ein Ziegelstein von der Straße dem Dachdecker auf dem Dach von selbst in die Hand fliegt — von zufälligen Molekülstößen getrieben. Perrin hat die Wahrscheinlichkeit für dies freudige Erlebnis ausgerechnet. Es ist etwas entmutigend für den Dachdecker, der alt und grau werden würde, sollte er darauf warten. Alle $10^{10\,000\,000\,000}$ Jahre kommt so etwas vor. Das ist eine Zahl mit 10 Milliarden Nullen, sie füllt, ausgeschrieben, 20000 Bücher dieser Größe. Das Alter der Erde

beträgt einen winzigen Bruchteil dieser Zeit; die ganze Welt existiert noch nicht so lange.

Wenn ich blaues und gelbes Farbpulver übereinanderschütte und tüchtig schüttele, erhalte ich Grün. Denkbar wäre es schon, daß bei weiterem Schütteln auf einmal wieder Blau und Gelb ganz klar getrennt erscheinen. Aber . . . wahrscheinlich, wie?" „Nein, unwahrscheinlich", antwortet unser Gast ganz ernsthaft. Die wunderbare Entwicklung der Physik, zu der seine Entdeckung schließlich den Anstoß gegeben hat, nimmt ihn völlig gefangen. „Aber das ist etwas ganz Neues für die Physik! Die Mechanik sagt ja nichts über die Richtung des Naturgeschehens aus. Das Gravitationsgesetz würde auch erlauben, daß die Erde die Sonne im umgekehrten Drehsinn umkreisen würde. Warum die Erde gerade diese Richtung gewählt hat, das ist ihre Sache und nicht weiter wesentlich." „Richtig. Wir wollen vielleicht korrekter sagen: Die Physik kennt eine große Menge Vorgänge, die ebensogut und immer noch physikalisch sinnvoll umgekehrt verlaufen können. Wenn ein Stein immer schneller werdend zur Erde fällt, so gibt es auch den umgekehrten Prozeß, daß er, aufwärts geworfen, immer langsamer werdend nach oben steigt. Man braucht dazu in den Gleichungen nur die Vorzeichen — auch das der Zeit — umzukehren. Aber es gibt Prozesse, die nur in einer Richtung laufen können. Nicht umkehrbar — irreversibel nennen wir sie. Das sind immer Vorgänge mit sehr vielen Partnern, bei denen eine Art Mischung eintritt, bei denen der Zufall eine Rolle spielt. Denn der Begriff Mischen trägt ja das Zufallselement in sich. Ein Musterbeispiel dafür ist eben der Temperaturausgleich in einem Gas, bei dem anfangs eine gewisse Ordnung herrschte; die schnellen ‚heißen' Moleküle links, die langsamen ‚kalten' rechts. Diese Ordnung wird durch die gründliche Mischung beider Sorten zerstört. Die meisten wirklichen Vorgänge in der Welt sind dieser Art — ob ich ein Glas Kognak trinke oder Wärmeleitungsversuche mache. Die Natur liebt absolute Einförmigkeit und Unordnung und Vermischung. Sie

arbeitet bei allen Naturprozessen so, daß sie dieses ihr Ziel erreicht. **Dadurch ist die Richtung des Prozesses, sein Ablauf — die Zeit, festgelegt.**

Ein Ozeandampfer, der das Atlantische Meer durchpflügt, arbeitet mit voller Maschinenkraft auch bei ruhigem Wetter. 20000 Pferde rumoren in seinem Bauch. Und sie werden verbraucht, das Schiff gegen den Widerstand des Wassers voranzutreiben. Die volle Maschinenkraft also geht schließlich in der Wasserreibung verloren, in der Reibung des vorüberströmenden Wassers am Rumpf oder in der inneren Reibung des Wassers, wenn die Wellen und kreisenden Schraubenstrudel und Wirbel allmählich gedämpft werden, zur Ruhe kommen. Der Dampfer ist im Grunde ein Ofen, er heizt das Weltmeer. Niemals aber hat man davon gehört, daß die Reibungsenergie, die nun im Ozean steckt, sich dazu bequemt hätte, ihrerseits ein Schiff über den Ozean zu treiben und dafür den Ozean abzukühlen. Dies ist die Nichtumkehrbarkeit der Natur — der zweite Hauptsatz, wie wir sagen."



„Wieso der zweite?" will Mr. Brown wissen. „Was ist der erste?" „Den ersten Hauptsatz nennen wir den Erhaltungssatz der Energie — das Energieprinzip. Daß die mechanische Energie stets erhalten bleibt, wissen wir schon lange. Aber erst der süddeutsche Arzt Julius Robert Mayer erkannte 1842, daß dieser Satz auch noch bei Umwandlung mechanischer in Wärme-Energie richtig bleibt. Die Wilden machen Feuer, indem sie zwei Holzstäbe fest aufeinander reiben — und wirklich findet sich die Arbeit, die sie dabei aufwenden, die ganze Energie in der Wärme-Energie der Holzstäbe wieder. Auf einer Schiffsreise in die Tropen fand Mayer in zwingender Intuition diese Erkenntnis — ‚er war ein einziges Mal in seinem Leben genial.' Joule erhärtete den Energiesatz durch Experimente; Helmholtz brachte ihn zu mathematischer Klarheit und fügte hinzu, daß er universale Geltung hat. Ob Energie in

beträgt einen winzigen Bruchteil dieser Zeit; die ganze Welt existiert noch nicht so lange.

Wenn ich blaues und gelbes Farbpulver übereinanderschütte und tüchtig schüttele, erhalte ich Grün. Denkbar wäre es schon, daß bei weiterem Schütteln auf einmal wieder Blau und Gelb ganz klar getrennt erscheinen. Aber ... wahrscheinlich, wie?" „Nein, unwahrscheinlich", antwortet unser Gast ganz ernsthaft. Die wunderbare Entwicklung der Physik, zu der seine Entdeckung schließlich den Anstoß gegeben hat, nimmt ihn völlig gefangen. „Aber das ist etwas ganz Neues für die Physik! Die Mechanik sagt ja nichts über die Richtung des Naturgeschehens aus. Das Gravitationsgesetz würde auch erlauben, daß die Erde die Sonne im umgekehrten Drehsinn umkreisen würde. Warum die Erde gerade diese Richtung gewählt hat, das ist ihre Sache und nicht weiter wesentlich." „Richtig. Wir wollen vielleicht korrekter sagen: Die Physik kennt eine große Menge Vorgänge, die ebensogut und immer noch physikalisch sinnvoll umgekehrt verlaufen können. Wenn ein Stein immer schneller werdend zur Erde fällt, so gibt es auch den umgekehrten Prozeß, daß er, *aufwärts geworfen*, immer langsamer werdend nach oben steigt. Man braucht dazu in den Gleichungen nur die Vorzeichen — auch das der Zeit — umzukehren. Aber es gibt Prozesse, die nur in einer Richtung laufen können. Nicht umkehrbar — irreversibel nennen wir sie. Das sind immer Vorgänge mit sehr vielen Partnern, bei denen eine Art Mischung eintritt, bei denen der Zufall eine Rolle spielt. Denn der Begriff Mischen trägt ja das Zufallselement in sich. Ein Musterbeispiel dafür ist eben der Temperaturausgleich in einem Gas, bei dem anfangs eine gewisse Ordnung herrschte; die schnellen ‚heißen' Moleküle links, die langsamen ‚kalten' rechts. Diese Ordnung wird durch die gründliche Mischung beider Sorten zerstört. Die meisten wirklichen Vorgänge in der Welt sind dieser Art — ob ich ein Glas Kognak trinke oder Wärmeleitungsversuche mache. Die Natur liebt absolute Einförmigkeit und Unordnung und Vermischung. Sie

arbeitet bei allen Naturprozessen so, daß sie dieses ihr Ziel erreicht. Dadurch ist die Richtung des Prozesses, sein Ablauf — die Zeit, festgelegt.

Ein Ozeandampfer, der das Atlantische Meer durchpflügt, arbeitet mit voller Maschinenkraft auch bei ruhigem Wetter. 20000 Pferde rumoren in seinem Bauch. Und sie werden verbraucht, das Schiff gegen den Widerstand des Wassers voranzutreiben. Die volle Maschinenkraft also geht schließlich in der Wasserreibung verloren, in der Reibung des vorüberströmenden Wassers am Rumpf oder in der inneren Reibung des Wassers, wenn die Wellen und kreisenden Schraubenstrudel und Wirbel allmählich gedämpft werden, zur Ruhe kommen. Der Dampfer ist im Grunde ein Ofen, er heizt das Weltmeer. Niemals aber hat man davon gehört, daß die Reibungsenergie, die nun im Ozean steckt, sich dazu bequemt hätte, ihrerseits ein Schiff über den Ozean zu treiben und dafür den Ozean abzukühlen. Dies ist die Nichtumkehrbarkeit der Natur — der zweite Hauptsatz, wie wir sagen."



„Wieso der zweite?" will Mr. Brown wissen. „Was ist der erste?" „Den ersten Hauptsatz nennen wir den Erhaltungssatz der Energie — das Energieprinzip. Daß die mechanische Energie stets erhalten bleibt, wissen wir schon lange. Aber erst der süddeutsche Arzt Julius Robert Mayer erkannte 1842, daß dieser Satz auch noch bei Umwandlung mechanischer in Wärme-Energie richtig bleibt. Die Wilden machen Feuer, indem sie zwei Holzstäbe fest aufeinander reiben — und wirklich findet sich die Arbeit, die sie dabei aufwenden, die ganze Energie in der Wärme-Energie der Holzstäbe wieder. Auf einer Schiffsreise in die Tropen fand Mayer in zwingender Intuition diese Erkenntnis — ‚er war ein einziges Mal in seinem Leben genial.' Joule erhärtete den Energiesatz durch Experimente; Helmholtz brachte ihn zu mathematischer Klarheit und fügte hinzu, daß er universale Geltung hat. Ob Energie in

beträgt einen winzigen Bruchteil dieser Zeit; die ganze Welt existiert noch nicht so lange.

Wenn ich blaues und gelbes Farbpulver übereinanderschütte und tüchtig schüttele, erhalte ich Grün. Denkbar wäre es schon, daß bei weiterem Schütteln auf einmal wieder Blau und Gelb ganz klar getrennt erscheinen. Aber ... wahrscheinlich, wie?" „Nein, unwahrscheinlich", antwortet unser Gast ganz ernsthaft. Die wunderbare Entwicklung der Physik, zu der seine Entdeckung schließlich den Anstoß gegeben hat, nimmt ihn völlig gefangen. „Aber das ist etwas ganz Neues für die Physik! Die Mechanik sagt ja nichts über die Richtung des Naturgeschehens aus. Das Gravitationsgesetz würde auch erlauben, daß die Erde die Sonne im umgekehrten Drehsinn umkreisen würde. Warum die Erde gerade diese Richtung gewählt hat, das ist ihre Sache und nicht weiter wesentlich." „Richtig. Wir wollen vielleicht korrekter sagen: Die Physik kennt eine große Menge Vorgänge, die ebensogut und immer noch physikalisch sinnvoll umgekehrt verlaufen können. Wenn ein Stein immer schneller werdend zur Erde fällt, so gibt es auch den umgekehrten Prozeß, daß er, aufwärts geworfen, immer langsamer werdend nach oben steigt. Man braucht dazu in den Gleichungen nur die Vorzeichen — auch das der Zeit — umzukehren. Aber es gibt Prozesse, die nur in einer Richtung laufen können. Nicht umkehrbar — irreversibel nennen wir sie. Das sind immer Vorgänge mit sehr vielen Partnern, bei denen eine Art Mischung eintritt, bei denen der Zufall eine Rolle spielt. Denn der Begriff Mischen trägt ja das Zufallselement in sich. Ein Musterbeispiel dafür ist eben der Temperaturausgleich in einem Gas, bei dem anfangs eine gewisse Ordnung herrschte; die schnellen ‚heißen' Moleküle links, die langsamen ‚kalten' rechts. Diese Ordnung wird durch die gründliche Mischung beider Sorten zerstört. Die meisten wirklichen Vorgänge in der Welt sind dieser Art — ob ich ein Glas Kognak trinke oder Wärmeleitungsversuche mache. Die Natur liebt absolute Einförmigkeit und Unordnung und Vermischung. Sie

wie der erste: es ist grundsätzlich unmöglich, daß sich Wärme vollständig in Arbeit umwandelt; ein Teil bleibt immer Wärme und strebt zu niedrigeren Temperaturen hin — gut, das müssen wir wohl oder übel heute den Forschern glauben, die, auf diese These gestützt, in der Physik, der Chemie und der physikalischen Chemie die unglaublichsten Erfolge erzielt haben. Aber wir haben dabei einen inneren Widerstand zu überwinden: wir glauben nicht freudig und selbstverständlich, sondern mangels Gegengründen. Es ist kein Freispruch wegen erwiesener Unschuld, sondern einer wegen mangelnder Beweise. Nur die Physiker, die sich sehr viel mit Thermodynamik und kinetischer Theorie beschäftigt haben, werden über diese Zweifel wirklich hinwegkommen.

Die Richtung der Naturprozesse hängt aufs engste mit dem zweiten Hauptsatz zusammen. Scheinbar willkürlich und sinnlos jagen die Moleküle des Gases durcheinander — und doch verläuft ihre ganze Bewegung so, daß die Wärme von hoher zu tiefer Temperatur geleitet wird. Der Vorgang läuft von der Ordnung zur Unordnung, wie wir sagten; Boltzmann drückt dasselbe etwas anders aus, wenn er sagt, daß der ungeordnete Zustand eine größere Wahrscheinlichkeit für sich hat als der geordnete, und daß die Natur ständig zum Zustand größter Wahrscheinlichkeit hinstrebt. Er führte eine neue mathematische Funktion ein, die **Entropie**, die ein Maß der Wahrscheinlichkeit darstellt. Und dann läßt sich der zweite Hauptsatz auch auf die einfache Form bringen: Die Entropie der Welt nimmt beständig zu. Die Natur hat eine nivellierende Tendenz — sie entwertet die Energie, indem sie sie ihrer Unterschiede beraubt. Wir haben uns damit abzufinden, schön, aber wir glauben doch, im Entropiesatz etwas ganz Besonderes gefunden zu haben. Sehen Sie, wir haben das Newtonsche Gravitationsgesetz oder die Größe der Erde hinzunehmen, ohne weiter daran herumzumäkeln. Denkbar wäre auch eine zehnmal so große Erde, denkbar wäre auch ein Gravitationsgesetz, nach dem die

mechanischer, chemischer, elektrischer, thermischer Form auftritt — immer gilt das Energieprinzip; die Energie mag sich zur Unkenntlichkeit vermummen — immer bleibt sie ihrem Betrag nach erhalten, es ist ein und dasselbe Etwas in anderer Form.

Die Summe der Energie bleibt bei allen Prozessen in der Welt konstant. Energie kann weder geschaffen noch vernichtet werden — es gibt heute soviel wie vor tausend Jahren und wie es in aller Zukunft geben wird.

Aus dem ersten Hauptsatz folgt, daß keine Maschine denkbar ist, die Energie aus dem Nichts schafft — ein Perpetuum mobile ist unmöglich. Aus Nichts wird nichts.

Wir glauben der Physik heute diesen Grundsatz ohne weiteres, aber halten wir fest: es ist ein Glaubenssatz. Beweisen läßt er sich nicht, wenn man nicht den Beweis darin erblickt, daß sich Jahrhunderte hindurch die gerissensten Köpfe vergeblich mit dem Perpetuum mobile herumgeschlagen haben. Dem Mittelalter leuchtete offenbar unser heutiges Dogma ‚Energieprinzip' nicht ein. Es ist kein Zufall, daß das Altertum auch keine Denkschwierigkeit darin erblickte, daß etwa junge Aale ganz von selbst aus dem Schlamm entstehen können."

„Aber Ihr Schiff, das dem Ozean die Wärmeenergie entnimmt und sie in Geschwindigkeit ummünzt, widerspricht doch dem ersten Hauptsatz nicht!" sagt Mr. Brown.

„Dennoch, glauben Sie mir, dies Schiff ist unmöglich. Wohlgemerkt — nicht nur, daß wir den Wunderdampfer noch nicht kennen, es wird ihn auch niemals geben. Alle Versuche in dieser Richtung sind fehlgeschlagen. Und wir haben heute die Gewißheit, daß es niemals ein ‚Perpetuum mobile zweiter Art' geben wird; aber auch dies ist ein Glaubenssatz!"

Herr Brown scheint nicht überzeugt.

„Ich gebe zu", sagt der andere, „für das allgemeine Denken ist der zweite Energiesatz nicht in dem gleichen Maße selbstverständlich

— — kümmert sich die Statistik nicht

Eine menschliche Statistik, eine Versicherungs-Gesellschaft beispielsweise, geht genau so vor. Sie berechnet Durchschnittswerte: mittlere Lebensdauer, Sterblichkeitsziffern usw. und sie kümmert sich nicht um die Lebensgeschichte des einzelnen Versicherungsteilnehmers. Wenn sie eine Prämie für einen Vierzigjährigen ausrechnen will, muß sie die wahrscheinlichen Aussichten aller Vierzigjährigen in Betracht ziehen, noch weitere zwanzig Jahre zu leben. Würde der Mathematiker dort sich darauf beschränken, vier oder fünf Fälle seiner Bekanntschaft zur Grundlage zu nehmen,



Wie eine Versicherungsgesellschaft die Menschen sieht ....

so könnte er etwa auf eine Familie stoßen, in der es zum guten Ton gehört, mindestens achtzig Jahre alt zu werden, und sein Ergebnis wäre unbrauchbar, es wäre falsch, und die Gesellschaft würde dies daran merken, daß sie sehr bald Konkurs anmelden müßte. Erst wenn der Mathematiker sehr viele Menschen beobachtet, erhält er ein sicheres Resultat.

Der Physiker, der eine Gastheorie auf wenige Moleküle gründen wollte, erhielte falsche, zufällige Resultate — *wie die Brownsche Bewegung.* Durch die große Zahl, die das Geheimnis jeder Statistik ist, wird der Zufall eingekapselt, aufgesogen, mathematisch erfaßbar. Man beschränkt sich auf allgemeine, gemeinsame Eigenschaften der Moleküle und übersieht bewußt die individuellen Zufälligkeiten. Und wegen der unerhört großen Zahl der Moleküle, der Quadrillionen, mit denen der Physiker rechnen kann, erteilt ihm die Statistik eine Antwort, die fast Gewißheit bedeutet. Das Wahrscheinlichkeitselement, das Irrationale, der Zufall ist

Anziehungskraft mit der vierten oder fünften Potenz der Entfernung abnimmt, nicht, wie Newton zeigte, mit ihrem Quadrat. Die Natur hat hier ein für allemal unter den theoretisch denkbaren Größen eine bestimmte ausgewählt. Zufällig, wie es uns scheinen will.

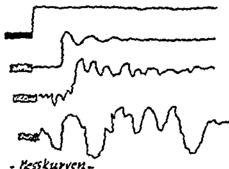
Mit dem Entropiesatz steht es anders. Seine Gültigkeit scheint weniger zufällig — sie erscheint unentrinnbar. Er ist ein Fremder im Reich der theoretischen Physik. Ein großes Geheimnis umgibt ihn — die Zeit! Und er scheint mehr davon zu wissen und anderes zu wissen als die anderen. Mit kalter, lähmender Unbarmherzigkeit zwingt er dem Leben seinen Willen auf. Er bestimmt die Richtung des Weltgeschehens. Die Entropie der Welt nimmt zu."

Der Alte nickt stumm und nimmt noch eine Prise. Aber mein Freund ist noch nicht fertig.

„Darf ich noch einmal auf das früher Gesagte zurückkommen? Die Gaskinetik ist der Ort, wo zum erstenmal statistische Methoden mit ihren großen Denkschwierigkeiten in der Physik auftreten. Wir verzichten vollkommen darauf zu wissen, was das einzelne Molekül vorhat und was mit ihm geschieht. Zu Boltzmanns Zeiten hätte man den Gedanken weit von sich gewiesen, daß wir jemals ein einzelnes Molekül würden sehen können. Wir sind heute auf dem Wege dazu. Und wir denken, daß die Stoßvorstellungen wohl sehr viel Wahrheit enthalten. Aber wir verzichten darauf. Wir verzichten auch auf Vorstellungen über Gestalt und Aussehen der Moleküle — wie die Griechen sie sich machten. Vielleicht hätten wir viel mehr Berechtigung dazu als Demokrit — aber wir begnügen uns mit gewissen Mittelwerten, mit Geschwindigkeiten im großen Durchschnitt, mit einem plausiblen Stoßgesetz — damit kommen wir aus, und damit können wir die praktisch allein wichtigen Fälle wie die Wärmeleitung oder das Verhalten bei hohem Druck oder tiefer Temperatur beliebig genau berechnen.

Grenze ist heute erreicht — wir haben die Lichtgeschwindigkeit gemessen. Wir wissen — oder glauben doch zu wissen —, daß kleinere Körper als etwa Elektronen nicht existieren – und kennen ihre Größe. Wir wissen um die kleinste elektrische Ladung, die es gibt, und die kleinste Lichtmenge. Aber auch für die Meßtechnik gibt es eine Grenze — sie ist uns durch die Brownsche Bewegung vorgeschrieben.

Immer feiner und leichter baute man die Systeme, immer dünner die Fäden, unter Spinnwebstärke; ganz dünn ausgezogene, versilberte Quarzfäden meist. Das Resultat: diese Instrumente



- *Messkurven* -

waren völlig unbrauchbar. Rastlos, schwankend pendelten die Lichtzeiger hin und her. Man lagerte die Apparate in tiefen Kellern und maß nur des Nachts, um alle Erschütterungen auszuschalten. Es half nichts. Der Grund mußte woanders liegen — wir kennen ihn schon. Man war mit den Liliput-Spiegeln in die Welt der Moleküle hinabgestiegen, ins Reich des Zufalls, zur Brownschen Molekularbewegung. Immerfort, wie sorgfältig man sie auch aufhängt und lagert, werden die Spiegelinstrumente die Brownsche Zitterbewegung zeigen, und sie werden, ewigen Juden gleich, ruhelos um den Nullpunkt schwanken, von den Luftmolekülen ständig in Aufregung und Bewegung gehalten. Es gibt kein Erbarmen; je feiner man das Instrument baut, um so größer werden diese Ausschläge, um so stärker werden die ‚thermodynamischen Schwankungen', um so mehr ertrinken in dieser ständigen Bewegung um den Nullpunkt

gründlich im unübersehbaren Meer der Myriaden Moleküle versunken. Es wird nicht mehr spuken."

„Es wird nicht mehr spuken", sagt Mr. Brown zustimmend. „Das ist gut."

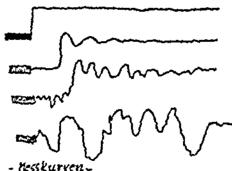
Grenzen

„Nur leider — manchmal spukt es doch! Und dann verfluchen wir Physiker die Brownsche Bewegung mit all ihren Konsequenzen. Die Natur zittert. Wir sehen es an Walter. Aber wir sehen es auch an unseren Meßinstrumenten, und hier wird die Sache ernst. Ob es sich um Drehwaagen handelt oder um elektrische Meßinstrumente: im Prinzip handelt es sich meistens darum, daß ein kleiner Spiegel, an einem dünnen Faden aufgehängt, sich unter dem Einfluß der Anziehungs- oder elektrischen Kraft dreht und dabei einen darauf fallenden Lichtstrahl, einen Lichtzeiger mit sich im Raum herumführt. Auf diese Weise — es ist der Sinn jedes Zeigers, eine Drehbewegung zu vergrößern und so besser sichtbar zu machen (Taschenuhr!) — erhält man einen beliebig langen Zeiger „aus Licht", d. h. gewichtslos. Das aber ist ein wesentlicher Vorteil. Je kleiner das Gewicht der zu bewegenden Teile ist, auf desto geringere Kräfte kann das Meßinstrument offenbar noch ansprechen. Und in der Feinheit der Messungen hat man es heute wirklich weit gebracht — Ströme von einem billiontel Ampere, Gewichte von milliontel Gramm sind mit Sicherheit noch festzustellen. Geht das beliebig weiter? Frühere Zeiten hätten bedenkenlos „ja" geantwortet. Aber es ist charakteristisch für die heutige Zeit, daß sie vorsichtiger ist. Zu oft ist die Physik in ihrer modernen Entwicklung auf Grenzen gestoßen.

Wir haben erkannt, daß tiefere Temperaturen als —273,16°C unmöglich sind. Die Grenze ist heute erreicht, bis auf ein paar hundertstel Grad. Wir haben erkannt, daß Geschwindigkeiten größer als die Lichtgeschwindigkeit in der Natur nicht vorkommen. Die

Grenze ist heute erreicht — wir haben die Lichtgeschwindigkeit gemessen. Wir wissen — oder glauben doch zu wissen —, daß kleinere Körper als etwa Elektronen nicht existieren – und kennen ihre Größe. Wir wissen um die kleinste elektrische Ladung, die es gibt, und die kleinste Lichtmenge. Aber auch für die Meßtechnik gibt es eine Grenze — sie ist uns durch die Brownsche Bewegung vorgeschrieben.

Immer feiner und leichter baute man die Systeme, immer dünner die Fäden, unter Spinnwebstärke; ganz dünn ausgezogene, versilberte Quarzfäden meist. Das Resultat: diese Instrumente



- Messkurven -

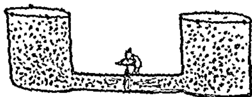
waren völlig unbrauchbar. Rastlos, schwankend pendelten die Lichtzeiger hin und her. Man lagerte die Apparate in tiefen Kellern und maß nur des Nachts, um alle Erschütterungen auszuschalten. Es half nichts. Der Grund mußte woanders liegen — wir kennen ihn schon. Man war mit den Liliput-Spiegeln in die Welt der Moleküle hinabgestiegen, ins Reich des Zufalls, zur Brownschen Molekularbewegung. Immerfort, wie sorgfältig man sie auch aufhängt und lagert, werden die Spiegelinstrumente die Brownsche Zitterbewegung zeigen, und sie werden, ewigen Juden gleich, ruhelos um den Nullpunkt schwanken, von den Luftmolekülen ständig in Aufregung und Bewegung gehalten. Es gibt kein Erbarmen; je feiner man das Instrument baut, um so größer werden diese Ausschläge, um so stärker werden die ‚thermodynamischen Schwankungen', um so mehr ertrinken in dieser ständigen Bewegung um den Nullpunkt

die winzigen Ausschläge, die etwa von dem elektrischen Strom herkommen und die wir messen wollen. Mit unseren Messungen haben wir also gleichfalls die Grenze der Natur erreicht. Kleinere Energiebeträge sind nicht meßbar — und damit haben wir uns zufrieden zu geben. Die Brownsche Bewegung hat die Schuld." Der Alte verkriecht sich in seinen Sessel und senkt verlegen den Kopf. Was er alles für Dinge hören muß! Aber es kommt noch besser.

„Das ist erst eine Seite der Sache. Die andere ist die: Hat im Bereich der Moleküle unsere Physik noch ihren herkömmlichen Sinn? Offenbar nicht. Wir wollen nur ein Beispiel anführen — Temperatur. Bei 25° hat die Durchschnittsgeschwindigkeit der Moleküle den Wert 500 m/sec. Wenn wir ein einziges Molekül mit dieser Geschwindigkeit haben, welche Temperatur sollen wir ihm geben? 25°? Vielleicht. Aber in einem Gas von —50° gibt es auch noch immer Moleküle, genügend viel sogar, die die Geschwindigkeit 500 m/sec besitzen. Und wenn unser Molekül aus einem solchen Behälter käme — müßten wir es nicht für ein „—50° warmes" halten? Oder es ist vielleicht ein zufällig sehr langsames aus einem Gaskolben von 500°C? Wir haben ja kein Merkmal, um festzustellen, aus welchem Behälter es kommt. Wir sehen — das beste wird sein, wir verzichten. Der Begriff ‚Temperatur' hat nur Sinn, wenn wir eine sehr große Anzahl von Molekülen vor uns haben, die dann eine genau festliegende mittlere Geschwindigkeit besitzen. Ein einzelnes Molekül hat überhaupt keine Temperatur — sowenig, wie ein mathematischer Lehrsatz rot oder grün ist oder ein Autobus eine Religion besitzt. Beim Hinabsteigen in die Mikrowelt der Moleküle wird etwas Vorsicht am Platze sein. Wir dürfen uns nicht wundern, wenn gewisse Begriffe, die wir aus der großen Welt mitbringen, dort ihren Sinn verlieren wie etwa unsere europäischen Sitten unter den ganz anderen Bedingungen der Papua. Die heutige Physik hat noch viel wichtigere Gründe dafür entdeckt. Schöne Geschichten, die Sie uns eingebrockt haben, Mr. Brown. Aber nun hören Sie auch noch die letzte Folgerung.

Die Bevorzugung der Einförmigkeit in der Natur scheint unausweichlich auf ein trostloses, graues Ende hinzutreiben. Eine fortwährende Entwertung der Energie findet statt. Denn wenn die theoretische Physik auch reversible Prozesse kennt — Vorgänge, die ohne „Verluste", ohne Reibung in Ewigkeit ablaufen —, die Natur kennt solche Vorgänge nicht. Immer geht ein Teil der verfügbaren Energie als notwendige Abgabe an die Umwelt verloren. Er wandelt sich in Wärme um, erhitzt eine Lampe, einen Autoreifen. Noch wäre dann ein Temperaturunterschied vorhanden, aus dem die Energie, wenn auch nur teilweise, nach dem zweiten Hauptsatz, wiedergewonnen werden könnte. Aber auch sie gleicht sich rasch aus, die Wärme zerfließt im Wasser, auf dem Boden, versickert in der Umwelt. Die Energie freilich ist nicht aus der Welt verschwunden, sie steckt in der Wärmebewegung der Moleküle — aber sie ist unserem Zugriff entzogen. Mehr noch: sie scheint auch dem Zugriff der Natur entzogen zu sein.

Man hat den Einwand gemacht, daß nach der kinetischen Theorie eine Umgehung des zweiten Hauptsatzes möglich erscheint. Wenn man zwei Gefäße miteinander verbindet, aber die Verbindung durch eine Tür absperrt und ein kleines, höchst intelligentes Wesen, einen ‚Dämon' — sein Vater ist der berühmte englische



Physiker Maxwell — als Wächter an diese Tür setzte —, dann hätte er es in der Hand, dem zweiten Hauptsatz ein Schnippchen zu schlagen. Er brauchte die Tür nur immer zu öffnen, wenn ein schnelles Molekül herankommt, und sie rasch

zu schließen, wenn ein langsames anrollt. So würde er allmählich alle schnellen Moleküle hinter, alle langsamen vor der Tür versammeln, er hätte eine Trennung der Geschwindigkeiten, einen nutzbaren Temperaturunterschied herbeigeführt, der Arbeit leisten könnte.

Man lehnte den Einwand achselzuckend ab. Die Theorie sei nicht für Dämonen geschrieben. Hatte man recht? Wir haben bis jetzt noch keine Maxwellschen Dämonen in der Natur nachweisen können. Sie sind also zumindest in der Welt dünn gesät. Zu wenig Dämonen gibt es, sie können das Weltgeschehen nicht beeinflussen. Unaufhaltsam wächst die Entropie.

Man hat vom Kältetod der Erde gesprochen. Viel trostloser, viel unabwendbarer erscheint der ‚Wärmetod' des Weltalls. Stets nur Prozesse, die Energie vergeuden, die Entropie vermehren, allenfalls ein paar, bei denen sie erhalten bleibt. Nirgends, so weit man schaut, ein Energiegewinn. Muß es so kommen? Läuft die Welt ab wie eine vergessene Uhr — wird sie in der Wärme ertrinken? Ein einziges totes Meer von Molekülen, in öder, gedankenloser Zickzackbewegung. Nivellierung, Ausgleich, Uniformierung. Grau in grau, so weit das Auge reicht. Ist wirklich dies trostlose Bild der Gedanke unserer Zukunft? Versinken in einem unbestimmten Wärmenebel — das wird das Ende der Welt sein?

Freilich, das sind Spekulationen. Es mag fraglich sein, ob wir berechtigt sind, den Entropiesatz auf die Welt als Ganzes anzuwenden — Sie wissen ja, es ist immer Vorsicht am Platz, wenn man die Grenzen eines Erfahrungsbereichs überschreitet. Was sagen Sie nun, Mr. Brown? Hallo ..."

Der Sessel ist leer. Unser freundlicher Besucher ist verschwunden. Und wie ich in das Mikroskop blicke, sehe ich nur ein Gewirr tanzender Staubteilchen in lebhafter Brownscher Bewegung, aber keine Spur von Walter. Nur ein feiner Duft von Lavendel liegt noch im Zimmer.

Ich sagte ja gleich, es ist eine unglaubwürdige Geschichte.

Warum sind die Atome so klein?

Können wir uns auf irgendeine Weise erklären, warum es so viele Moleküle in einem Gas gibt — warum die Atome und Moleküle so klein sind? Könnte man sich nicht tausend- und millionenfach größere Atome vorstellen? Zunächst sieht man keinerlei Schwierigkeiten in dem Gedanken. Trotzdem ist er kaum erlaubt; wir folgen einem Gedankengang von Schrödinger. Ein Ingenieur, der eine Brücke oder ein Elektrizitätswerk baut, wird auf eine gewisse Sicherheit sehen. Man baut die Brücke nicht so fest, daß ein Zug mit Ach und Krach gerade noch darüberfahren kann; man wird sie so bemessen, daß auch noch zwei Züge gleichzeitig darüberfahren können, man wird an den Winddruck denken müssen, an Schneelasten im Winter, und man gibt schließlich „noch ein bißchen zu", man dimensioniert sie ein wenig stärker, um auch unvorhergesehenen Fällen gewachsen zu sein. Kurz, man sucht immer über dem Niveau der Belastungen und Störungen zu bleiben. So müssen auch die Radiosender, um gut und deutlich hörbar zu sein, über dem allgemeinen ‚Störspiegel' liegen, dem ständigen Summen in den Apparaten, dem Knistern und Knacken, das Kunde vom elektrischen Leben der Atmosphäre gibt. (Im Sommer ist die Erde „belebter", die Atmosphäre redet lauter, der Störspiegel liegt höher, und schwache Sender ertrinken darin wie Felsen im Flußbett bei Hochwasser.) Man kann in einem gewissen Sinn sagen, daß die ganze Welt ein Störspiegel ist. Die ständige, unkontrollierbare Zitterbewegung der Moleküle verschlingt alles, was hineinfällt. Jeder Meßapparat, jede Maschine muß also noch deutlich über diesem Störspiegel arbeiten — wenn sie arbeiten soll, wenn sie nicht durch zufällige Störungen ein unkontrollierbares Gebrumm und Gezisch statt einer disziplinierten Musik erzeugen soll.

Ein Ingenieur, der einen derart komplizierten Mechanismus wie einen Menschen entwirft, wird ihn also aus dem Bereich der Brownschen Bewegung herausheben müssen. Er wird ihn groß

zu schließen, wenn ein langsames anrollt. So würde er allmählich alle schnellen Moleküle hinter, alle langsamen vor der Tür versammeln, er hätte eine Trennung der Geschwindigkeiten, einen nutzbaren Temperaturunterschied herbeigeführt, der Arbeit leisten könnte.

Man lehnte den Einwand achselzuckend ab. Die Theorie sei nicht für Dämonen geschrieben. *Hatte man recht?* Wir haben bis jetzt noch keine Maxwellschen Dämonen in der Natur nachweisen können. Sie sind also zumindest in der Welt dünn gesät. Zu wenig Dämonen gibt es, sie können das Weltgeschehen nicht beeinflussen. Unaufhaltsam wächst die Entropie.

Man hat vom Kältetod der Erde gesprochen. Viel trostloser, viel unabwendbarer erscheint der ‚Wärmetod' des Weltalls. Stets nur Prozesse, die Energie vergeuden, die Entropie vermehren, allenfalls ein paar, bei denen sie erhalten bleibt. Nirgends, so weit man schaut, ein Energiegewinn. Muß es so kommen? Läuft die Welt ab wie eine vergessene Uhr — wird sie in der Wärme ertrinken? Ein einziges totes Meer von Molekülen, in öder, gedankenloser Zickzackbewegung. Nivellierung, Ausgleich, Uniformierung. Grau in grau, so weit das Auge reicht. Ist wirklich dies trostlose Bild der Gedanke unserer Zukunft? Versinken in einem unbestimmten Wärmenebel — das wird das Ende der Welt sein?

Freilich, das sind Spekulationen. Es mag fraglich sein, ob wir berechtigt sind, den Entropiesatz auf die Welt als Ganzes anzuwenden — Sie wissen ja, es ist immer Vorsicht am Platz, wenn man die Grenzen eines Erfahrungsbereichs überschreitet. Was sagen Sie nun, Mr. Brown? Hallo . . ."

Der Sessel ist leer. Unser freundlicher Besucher ist verschwunden. Und wie ich in das Mikroskop blicke, sehe ich nur ein Gewirr tanzender Staubteilchen in lebhafter Brownscher Bewegung, aber keine Spur von Walter. Nur ein feiner Duft von Lavendel liegt noch im Zimmer.

Ich sagte ja gleich, es ist eine unglaubwürdige Geschichte.

Warum sind die Atome so klein?

Können wir uns auf irgendeine Weise erklären, warum es so viele Moleküle in einem Gas gibt — warum die Atome und Moleküle so klein sind? Könnte man sich nicht tausend- und millionenfach größere Atome vorstellen? Zunächst sieht man keinerlei Schwierigkeiten in dem Gedanken. Trotzdem ist er kaum erlaubt; wir folgen einem Gedankengang von Schrödinger. Ein Ingenieur, der eine Brücke oder ein Elektrizitätswerk baut, wird auf eine gewisse Sicherheit sehen. Man baut die Brücke nicht so fest, daß ein Zug mit Ach und Krach gerade noch darüberfahren kann; man wird sie so bemessen, daß auch noch zwei Züge gleichzeitig darüberfahren können, man wird an den Winddruck denken müssen, an Schneelasten im Winter, und man gibt schließlich „noch ein bißchen zu", man dimensioniert sie ein wenig stärker, um auch unvorhergesehenen Fällen gewachsen zu sein. Kurz, man sucht immer über dem Niveau der Belastungen und Störungen zu bleiben. So müssen auch die Radiosender, um gut und deutlich hörbar zu sein, über dem allgemeinen ‚Störspiegel' liegen, dem ständigen Summen in den Apparaten, dem Knistern und Knacken, das Kunde vom elektrischen Leben der Atmosphäre gibt. (Im Sommer ist die Erde „belebter", die Atmosphäre redet lauter, der Störspiegel liegt höher, und schwache Sender ertrinken darin wie Felsen im Flußbett bei Hochwasser.) Man kann in einem gewissen Sinn sagen, daß die ganze Welt ein Störspiegel ist. Die ständige, unkontrollierbare Zitterbewegung der Moleküle verschlingt alles, was hineinfällt. Jeder Meßapparat, jede Maschine muß also noch deutlich über diesem Störspiegel arbeiten — wenn sie arbeiten soll, wenn sie nicht durch zufällige Störungen ein unkontrollierbares Gebrumm und Gezisch statt einer disziplinierten Musik erzeugen soll.

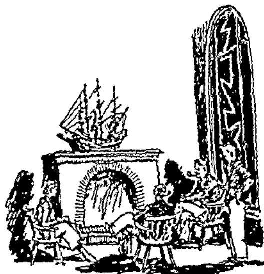
Ein Ingenieur, der einen derart komplizierten Mechanismus wie einen Menschen entwirft, wird ihn also aus dem Bereich der Brownschen Bewegung herausheben müssen. Er wird ihn groß

genug machen, um eine verläßliche, genaue Statistik zu erhalten, denn nur wenn der Mensch genügend groß ist, heben sich die Einzeleinwirkungen der Moleküle auf. Ein Zittermensch wie der unglückliche Walter unter dem Mikroskop, der durch den Aufprall einzelner Moleküle bereits empfindlich umhergestoßen wird, wäre sonst das Resultat. Aber noch mehr — der Mikromensch würde ja *nicht nur als Ganzes in der Welt umhergestoßen werden*, so daß er, ohne zu wissen, wie, plötzlich im Nebenzimmer stünde, oder wenn er morgens zum Dienst fährt, dank einer unglücklichen Molekülkonstellation statt dessen im Wirtshaus landete. Auch in seinem Innern wäre es ständig lebhaft bewegt. Vielleicht spricht er gerade ergeben mit seinem Generaldirektor — ein Molekül saust gegen sein Schienbein kurz unterhalb des Knies, und als *ungewollter, unvermeidlicher* Reflex schleudert das Bein nach vorn und versetzt dem Generaldirektor einen energischen Tritt unter das Kinn.



Es würde noch weiter gehen, denn alle Lebensfunktionen, alle Denkvorgänge beispielsweise wären ja den ‚thermodynamischen Schwankungen' *in grausigem Maß unterworfen*. Man mag über den Prozeß des Denkens denken, wie man will — auf alle Fälle spielt der rein materielle Apparat des Gehirns dabei eine Rolle, und ob mit oder durch einen Mechanismus, der ständig in unkontrollierbarer Weise gestört wird, noch vernünftig gedacht werden kann, darf man bezweifeln. Wir beschimpfen unsere „groben Sinne", sagt Schrödinger, daß sie *eine so himmelweite Kluft von* der „interessanten" Welt der Atome trennt, daß wir Atome nicht direkt sehen könnten. Wir sollten dem Schöpfer dafür lieber dankbar sein —, denn es ist sehr zweifelhaft, ob wir mit tausendfach kleineren Mikroaugen überhaupt sehen könnten! So scheint es auf jeden Fall höchst vernünftig eingerichtet, daß die Atome im Verhältnis *zu uns so klein sind und wir aus so viel Atomen bestehen.*

Gewittergespräche



Auf einmal ging das Licht aus. — Ein niederfahrender Blitz riß das Zimmer für einen kurzen Augenblick aus dem Dunkel in bläulich-grelle Helligkeit, und fast gleichzeitig krachte der Donnerschlag, daß die Fensterscheiben klirrten. Dann fiel der Raum in schwarze Nacht zurück, und klatschend schleuderte der tobende Sturm Regengüsse gegen das Haus. „Schöne Bescherung", meinte der Hausherr zu mir. „Jetzt sitzt man wieder ohne Licht. Sie sind doch Physiker — Sie müssen uns doch sagen können, woran es liegt." „Sind die Sicherungen ganz?" Sie waren ganz, es mußte eine Störung im Werk vorliegen, oder der Blitz war in die Leitung geschlagen. Kerzen? Nein, Kerzen waren nicht im Haus; auf dem Boden sollte sich eine Petroleumlampe herumtreiben, aber Petroleum war bestimmt nicht da. „Eigentlich ist es einmal ganz schön so", wagte ich einzuwenden. „Wir sitzen hier geborgen und schauen dem Unwetter zu. Und draußen macht der liebe Gott mit seinem Elektrizitätswerk Licht."

„Ob man sie einmal einfangen wird — diese himmlischen Elektrizitätsmengen?" fragte der jüngste Sohn. „Wozu sind Sie eigentlich Physiker, wenn Sie so etwas nicht können?"

„Sachte, sachte! Ich . . ." Ein greller Blitz benahm uns beinahe den Atem. „Sehen Sie", fuhr ich fort, „jetzt denken Sie alle, die Natur hätte wunder was für Elektrizitäts-Vorräte dort draußen. Gewiß — da toben Millionen Volt und Tausende Ampere.

Ströme, die tausendmal kräftiger sind als unsere erkrankte Licht-
leitung. Aber wie lange — Bruchteile einer Sekunde. Sie sind
Kaufmann — wieviel würden Sie für ein Gewitter ausgeben?
1 Gewitter mit 200 Blitzen prima Qualität und extra lautem
Donner, Wetterleuchten gratis. Nun ...?"

„Nun, billig wird es nicht sein. Sagen wir ..."

„Nein, sparen Sie sich die Mühe. Ich gebe es zum Einkaufs-
preis ab. 50 Pfennig! Einen Augenblick — lassen Sie mich aus-
reden. Eine Klingelbatterie gibt während ihrer Lebensdauer ins-
gesamt dieselbe Elektrizitätsmenge ab wie das Unwetter dort.
Freilich, das Gewitter ist nicht so bescheiden und arbeitsam wie
eine Klingelbatterie und versteht sich besser auf wirksame Auf-
machung. Dennoch sind die Gesamtströme gleich."

Ein Sturm der Entrüstung und der Verachtung prasselte auf
mich hernieder, nicht geringer als das Gewitter draußen. Meine
Behauptung wäre lächerlich und absurd; entweder ich verstünde
nichts von Physik oder die ganze Physik verstünde nichts von ihrem
Fach. Ich versuchte mich zu verteidigen. „Ich möchte ein paar
Fragen an Sie richten, wenn ich darf, damit ich wenigstens weiß,
wessen ich beschuldigt werde. Also — ein Gewitter hat mehr Elek-
trizität als eine Klingelbatterie, wie? Ja, dann müßte man viel-
leicht erst einmal feststellen, was Elektrizitätsmenge überhaupt
bedeutet; aber vorher darf ich fragen: Was ist ein Gewitter?"
„Hoho — Elektrizität natürlich." „Aha — der Donner ist Elek-
trizität, wie?" „Nein, der Blitz natürlich! Der Donner ist doch
nur ein Geräusch, ein Schall, der durch den Blitz erzeugt wird."
„Und ich habe mir immer eingebildet, ich könnte den Blitz sehen —
während doch jeder weiß, daß Elektrizität unsichtbar ist. Schade.
Eine unangenehme Situation."

„Nun hören Sie auf!" Der Hausherr mischte sich ins Ge-
spräch. Er hatte ganz heimlich eine kleine Taschenlampe angeknipst
und war an den Bücherschrank gegangen und hatte ein kleines
Lexikon hervorgezogen. „Blitz — ein elektrischer Funke."

„Gut. Das will ich zugeben. Aber ein Funke ist keine Elektrizität. Sehen Sie — neulich kam ein fremder Mann, vielleicht ein Eskimo oder einer aus einem fernen, vergessenen Hof im Gebirge, in unser Land und geriet in eine kleine Schenke im Grünen, wo man einen vortrefflichen Landwein ausschenkte; eine vergnügte Runde saß dort zusammen und lachte und sang, und er setzte sich neben den Wirt und fragte, warum seine Gäste so überaus vergnügt wären, und der Wirt hob ihm sein Glas entgegen und sagte: „Das ist der Alkohol!" Und der Mann zog weiter in ein kleines Dorf und trat in ein Wirtshaus. Da hatte am Tag vorher eine rechtschaffene Rauferei stattgefunden, und noch türmten sich die zerbrochenen Stühle und Tische, und in den Lachen auf dem Fußboden lagen zerschmetterte Bierkrüge. Es war kein schönes Bild für den Fremdling, und voller Entsetzen hörte er, wie eine alte Frau zur andern sagte: „Ja, ja, das ist der Alkohol."

Es entzieht sich meiner Kenntnis, was aus dem Wanderer geworden ist, ob er stumm in sein Bergdorf zurückging und dies Rätsel mit sich nahm, oder ob er einen klugen Mann fragte, was der Alkohol denn eigentlich sei.

Man soll die Wirkungen nicht mit der Ursache verwechseln. Nun, wir brauchen nicht in die Berge zurückzukehren. Freilich, wenn Sie mich fragen, was Elektrizität ist, so will ich Ihnen offen antworten — ich weiß es nicht. Aber wir wissen doch eine ganze Menge von ihr — so viel, daß es sich schon lohnt, einiges davon anzuhören. Man sagt, wir Menschen von heute hätten verlernt, uns zu wundern. Vielleicht haben wir nur verlernt, nachzudenken.

Wir drehen einen schwarzen Schalter — und strahlende Lichtflut übergießt den Raum. Wir rücken an einem Hebel — und weiche Wärme breitet sich uns entgegen. Straßenbahnen, Motoren, Werkstätten. Alles elektrisch! Rot und blau schreien es die Leuchtröhren von den Dächern und spiegeln sich im regennassen Asphalt.

Den ältesten Versuch über Elektrizität stellten die Griechen mit dem Bernstein an (Bernstein = elektron). Wer über eine Bernsteinkette

Ströme, die tausendmal kräftiger sind als unsere erkrankte Lichtleitung. Aber wie lange — Bruchteile einer Sekunde. Sie sind Kaufmann — wieviel würden Sie für ein Gewitter ausgeben? 1 Gewitter mit 200 Blitzen prima Qualität und extra lautem Donner, Wetterleuchten gratis. Nun ...?"

„Nun, billig wird es nicht sein. Sagen wir ..."

„Nein, sparen Sie sich die Mühe. Ich gebe es zum Einkaufspreis ab. 50 Pfennig! Einen Augenblick — lassen Sie mich ausreden. Eine Klingelbatterie gibt während ihrer Lebensdauer insgesamt dieselbe Elektrizitätsmenge ab wie das Unwetter dort. Freilich, das Gewitter ist nicht so bescheiden und arbeitsam wie eine Klingelbatterie und versteht sich besser auf wirksame Aufmachung. Dennoch sind die Gesamtströme gleich."

Ein Sturm der Entrüstung und der Verachtung prasselte auf mich hernieder, nicht geringer als das Gewitter draußen. Meine Behauptung wäre lächerlich und absurd; entweder ich verstünde nichts von Physik oder die ganze Physik verstünde nichts von ihrem Fach. Ich versuchte mich zu verteidigen. „Ich möchte ein paar Fragen an Sie richten, wenn ich darf, damit ich wenigstens weiß, wessen ich beschuldigt werde. Also — ein Gewitter hat mehr Elektrizität als eine Klingelbatterie, wie? Ja, dann müßte man vielleicht erst einmal feststellen, was Elektrizitätsmenge überhaupt bedeutet; aber vorher darf ich fragen: Was ist ein Gewitter?" „Hoho — Elektrizität natürlich." „Aha — der Donner ist Elektrizität, wie?" „Nein, der Blitz natürlich! Der Donner ist doch nur ein Geräusch, ein Schall, der durch den Blitz erzeugt wird." „Und ich habe mir immer eingebildet, ich könnte den Blitz sehen — während doch jeder weiß, daß Elektrizität unsichtbar ist. Schade. Eine unangenehme Situation."

„Nun hören Sie auf!" Der Hausherr mischte sich ins Gespräch. Er hatte ganz heimlich eine kleine Taschenlampe angeknipst und war an den Bücherschrank gegangen und hatte ein kleines Lexikon hervorgezogen. „Blitz — ein elektrischer Funke."

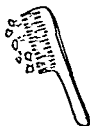
Name für die unbekannte Angelegenheit. Außerdem ist Ihre Behauptung nur teilweise richtig. Der Kamm zieht kleine Papierschnitzel an und vollführt ähnliche Zaubereien, weil er elektrisch ist. Wurde das Haar auch elektrisch?" „Ja, gewiß." „Aber die Haare sträuben sich doch — sie stoßen sich offensichtlich gegenseitig ab. Vielleicht auch, weil sie elektrisch sind, wie?" Und jetzt war es an dem Hausherrn, sich befriedigt in seinen Sessel zurückzulehnen.

Ich mußte ihm recht geben und den Rückzug antreten: „Wir wollen uns dahin einigen, daß es in dieser Welt ein Etwas gibt, das wir Elektrizität nennen, einen Stoff, einen Zustand, oder was sonst. Wir wollen sogar gleich annehmen, daß es zwei Arten von Elektrizität gibt, damit wir das verschiedene Verhalten von Kamm und Haar erklären können. Aber ich will mir die Dunkelheit zunutze machen und die Tatsache, daß Sie doch nichts Gescheiteres beginnen können, und etwas — nur ein wenig — mehr davon erzählen. Die Griechen, wie gesagt, kannten schon die Bernstein-Versuche. Als Erster in der Neuzeit wiederholte der Engländer Gilbert im 16. Jahrhundert die Experimente und zeigte, daß außer Bernstein auch viele andere Körper elektrisch werden können. Otto von Guericke baute die erste Elektrisiermaschine und entdeckte die elektrische Abstoßung. Das war um 1660. Vor genau 200 Jahren, 1734, fand du Fay, daß es zwei Arten von Elektrizität gibt; man nannte sie positiv und negativ, vollkommen willkürlich gewählte Bezeichnungen. Und jede Elektrisierung, das fand Franklin 1747, bedeutet nur eine Trennung der beiden Elektrizitäts-Arten. 1785 stellt Coulomb das Gesetz auf, nach dem Elektrizitäten aufeinander wirken. Aber noch immer ist die Frage ungeklärt: Ist das ‚Elektrisch-Sein' nur ein Zustand des Kammes, eine Eigenschaft wie andere auch, wie etwa, daß er schwarz oder schwer oder elastisch ist — oder bedeutet es etwas mehr? Mit anderen Worten — gibt es reine Elektrizität? Was meinen Sie selbst?" „Sicher doch — es muß ja so sein!" „Nein — vergessen Sie nicht, daß wir Menschen des 20 Jahrhunderts sind und von dieser Warte die Dinge

verfügt, kann diesen Versuch sofort wiederholen; er reibt den Bernstein tüchtig mit einem glatten Tuch oder einem Fell, und damit, durch die bloße Reibung, versetzt man den Bernstein in einen merkwürdigen Zustand. Auch bei Menschen gibt es solche Zustände — höchst reizbar, ausfallend gegen die Nachbarschaft, hysterisch. Bei einer Kette nennt man es ‚elektrisch'."

„Aber ich habe keine Kette ...", warf die junge Dame ein.

„Wer über keine Bernsteinkette verfügt, braucht trotzdem nicht traurig zu sein — wofern er nicht gerade eine Glatze hat. Er bekommt ein Hausmacher-Rezept für Elektrizität: Man kämme sich die Haare, am besten frisch gewaschen und gut getrocknet, ein paarmal tüchtig, energisch und rasch mit einem trockenen fettfreien Kamm durch. Dann ist der Kamm elektrisch — und wenn man ihm ganz kleine Papierfetzen auf wenige Millimeter nähert, so zeigt sich eine merkwürdige Anziehungskraft. Die Papierfetzen werden unruhig; ein paar unentschlossene Bewegungen — und mit einem plötzlichen Satz springen sie dem Kamm entgegen — durch die Luft und gegen Schwere und alle Vernunft. Das ist alles!" „Haarsträubend einfach."



„So einfach diese Kämmerei ist, so sehr enthält sie alles Wesentliche. Nun ja, der Kamm war nicht der einzig Betroffene. Wenn Sie aufgepaßt haben — und ich hoffe, Sie haben aufgepaßt — dann haben Sie bemerkt, wie sich auch das Haar sträubte, wie ein seltsames Prickeln über die Kopfhaut lief und ein leises Knistern zu hören war; vielleicht konnte man im Dunkeln sogar ein paar Fünkchen überspringen sehen. Das erst ist alles." Und ich lehnte mich zufrieden in meinen Sessel zurück.

„So, so. Das ist alles. Und Sie glauben doch nicht, damit irgend etwas erklärt zu haben? Vielleicht schon das Gewitter da draußen? Was ging mit dem Kamm vor?" „Er wurde elektrisch ..." „Elektrisch — das ist nur ein neuer, etwas großartiger

Strahlen hatte Hittorf das Langgesuchte entdeckt, die Elektrizität als solche. Nach einem Vorschlag von Stoney nennt man ein solches Teilchen ein „Elektron". Das Elektron ist der kleinste reine Elektrizitätsteil, den wir uns denken können, ein Elektrizitäts-Atom. Millikan ist es sogar gelungen, seine Ladung unmittelbar zu messen, und er hat feststellen können, daß kleinere Ladungseinheiten als eben die Ladung des Elektrons, des „elektrischen Elementarquantums", in der Natur nicht vorkommen. Es ist die negative Elektrizität, die damit gefunden wurde. Ein Elektronenschwarm, der aus der Kathode herausgeschossen kommt wie



die Menschen nach Büroschluß aus der Fabrik, ist ein elektrischer Strom. Hier wie dort ist die Abstoßung groß, und es lockt in weiter Ferne das nächste Ziel — das warme Abendbrot oder der positive Pol, je nachdem.

Gibt es auch positive Ladung für sich? Die Frage mußte gestellt werden. Im Jahre 1876 entdeckte Goldstein nach vielen Versuchen in denselben Geißlerröhren auch positive Elektrizitätsträger, die „Kanalstrahlen", so genannt, weil man sie durch kleine Öffnungen, Kanäle, durch die Kathode hindurchfliegen läßt. Die Kanalstrahlen waren positiv geladen; doch wie man sich auch bemühte, man hat niemals einen Kanalstrahl gesehen, der leichter als ein Wasserstoff-Atomkern gewesen wäre. Und in meinem Physikbuch steht dick und fett der Satz: **Positive Elektrizität ist bisher nicht frei beobachtet worden. Sie ist stets mit Materie verbunden.** Die Einheit der positiven Ladung heißt ein „Proton".

betrachten. Die Forscher haben lange Zeit geglaubt, auch die Wärme sei ein Stoff, der von einem Körper zum andern fließen kann, ein feiner, gasförmiger Stoff. Heute wissen wir, daß es nicht so ist — daß Wärme nur ein Zustand der Körper ist. Molekülbewegung. Mit der Elektrizität aber ist es anders."

Die Grundversuche

„Um 1870 gelang es Hittorf, Crookes und anderen endlich, die reine Elektrizität zu finden. Sie verbarg sich in fast luftleeren Glasröhren, Geißlerröhren: Pumpt man z. B. aus einer Neon-Röhre das Gas weg und schickt einen Strom durch, so leuchtet bei ganz niedrigem Gasdruck — eintausendstel mm Quecksilber, das ist etwa ein Millionstel des gewöhnlichen Luftdrucks der Atmosphäre — das Glas gegenüber dem negativen Pol, der ‚Kathode', hellgrün auf; es ‚fluoresziert'. Man fand, daß senkrecht von der Kathode geradlinige Strahlen ausgehen — Kathodenstrahlen — kleine Teilchen, die mit großer Geschwindigkeit quer durch die Röhre jagen und beim Auftreffen auf das Glas das helle Fluoreszenzlicht erzeugen." „Und woher weiß man, daß sie geradlinig fliegen?" „Ein Blechstück in ihrem Weg können sie nicht durchdringen; es zeichnet sich auf der Röhre als scharfer Schatten ab.

Der leichteste Stoff, den wir auf der Welt kennen, ist der Wasserstoff; eins seiner Atome wiegt:

0,000 000 000 000 000 000 000 001 663 g.

Aber als man die Masse der Kathodenstrahlen bestimmte, ergab sich zu aller Überraschung, daß diese schnell fliegenden Teilchen noch rund 1840mal leichter sind als ein Wasserstoff-Atom. Sie wiegen nichts, im gewöhnlichen Sinn." „Aber Sie sagten doch eben, daß Wasserstoff der leichteste Stoff ist?" „Ja, eben. Die Kathodenstrahlen konnten auch kein Stoff im gewöhnlichen Sinn sein, kein materieller Stoff, kein chemisches Element und keine chemische Verbindung — sie waren r e i n e Elektrizität. Mit diesen

— — *Proton* (+) *schwer*

Strahlen hatte Hittorf das Langgesuchte entdeckt, die Elektrizität als solche. Nach einem Vorschlag von Stoney nennt man ein solches Teilchen ein ‚Elektron'. Das Elektron ist der kleinste reine Elektrizitätsteil, den wir uns denken können, ein Elektrizitäts-Atom. Millikan ist es sogar gelungen, seine Ladung unmittelbar zu messen, und er hat feststellen können, daß kleinere Ladungseinheiten als eben die Ladung des Elektrons, des ‚elektrischen Elementarquantums', in der Natur nicht vorkommen. Es ist die negative Elektrizität, die damit gefunden wurde. Ein Elektronenschwarm, der aus der Kathode herausgeschossen kommt wie



die Menschen nach Büroschluß aus der Fabrik, ist ein elektrischer Strom. Hier wie dort ist die Abstoßung groß, und es lockt in weiter Ferne das nächste Ziel — das warme Abendbrot oder der positive Pol, je nachdem.

Gibt es auch positive Ladung für sich? Die Frage mußte gestellt werden. Im Jahre 1876 entdeckte Goldstein nach vielen Versuchen in denselben Geißlerröhren auch positive Elektrizitätsträger, die ‚Kanalstrahlen', so genannt, weil man sie durch kleine Öffnungen, Kanäle, durch die Kathode hindurchfliegen läßt. Die Kanalstrahlen waren positiv geladen; doch wie man sich auch bemühte, man hat niemals einen Kanalstrahl gesehen, der leichter als ein Wasserstoff-Atomkern gewesen wäre. Und in meinem Physikbuch steht dick und fett der Satz: **Positive Elektrizität ist bisher nicht frei beobachtet worden. Sie ist stets mit Materie verbunden.** Die Einheit der positiven Ladung heißt ein ‚Proton'.

betrachten. Die Forscher haben lange Zeit geglaubt, auch die Wärme sei ein Stoff, der von einem Körper zum andern fließen kann, ein feiner, gasförmiger Stoff. Heute wissen wir, daß es nicht so ist — daß Wärme nur ein Zustand der Körper ist. Molekülbewegung. Mit der Elektrizität aber ist es anders."

Die Grundversuche

„Um 1870 gelang es Hittorf, Crookes und anderen endlich, die reine Elektrizität zu finden. Sie verbarg sich in fast luftleeren Glasröhren, Geißlerröhren: Pumpt man z. B. aus einer Neon-Röhre das Gas weg und schickt einen Strom durch, so leuchtet bei ganz niedrigem Gasdruck — eintausendstel mm Quecksilber, das ist etwa ein Millionstel des gewöhnlichen Luftdrucks der Atmosphäre — das Glas gegenüber dem negativen Pol, der ‚Kathode', hellgrün auf; es ‚fluoresziert'. Man fand, daß senkrecht von der Kathode geradlinige Strahlen ausgehen — Kathodenstrahlen — kleine Teilchen, die mit großer Geschwindigkeit quer durch die Röhre jagen und beim Auftreffen auf das Glas das helle Fluoreszenzlicht erzeugen." „Und woher weiß man, daß sie geradlinig fliegen?" „Ein Blechstück in ihrem Weg können sie nicht durchdringen; es zeichnet sich auf der Röhre als scharfer Schatten ab.

Der leichteste Stoff, den wir auf der Welt kennen, ist der Wasserstoff; eins seiner Atome wiegt:

0,000 000 000 000 000 000 000 001 663 g.

Aber als man die Masse der Kathodenstrahlen bestimmte, ergab sich zu aller Überraschung, daß diese schnell fliegenden Teilchen noch rund 1840mal leichter sind als ein Wasserstoff-Atom. Sie wiegen nichts, im gewöhnlichen Sinn." „Aber Sie sagten doch eben, daß Wasserstoff der leichteste Stoff ist?" „Ja, eben. Die Kathodenstrahlen konnten auch kein Stoff im gewöhnlichen Sinn sein, kein materieller Stoff, kein chemisches Element und keine chemische Verbindung — sie waren reine Elektrizität. Mit diesen

eine Siegellackstange mit einem Pelz reibt, so werden durch die etwas rasche Bewegung — durch höhere Gewalt — die glücklichen Verbindungen Plus-Minus, die in beiden Stoffen vorhanden waren, zerstört. Es kommt zur Trennung langjähriger Freundschaften. Und aus einem Grunde, der uns noch etwas dunkel ist, ziehen die Elektronen den Aufenthalt auf dem Kamm vor, er gefällt ihnen besser. Sie sammeln sich dort in großer Zahl und lassen ihre positiven Partner einsam und geladen auf dem Haar zurück. Kamm und Haar sind elektrisch geworden!"

„Wissen Sie — das klingt so einfach. Manchmal ist man versucht, mit einem etwas mitleidigen Lächeln auf Generationen von Forschern hinabzusehen, die sich um die Geheimnisse der Elektrizität bemüht haben und sie nicht enträtseln konnten."

„Ja, sicher ist es jetzt einfach. Aber vergessen Sie nicht, daß es viel leichter ist, die Arbeit von Jahrhunderten in wenigen Sätzen zusammenzufassen, als die Erkenntnis einen winzigen Schritt weiterzutreiben. Und warten Sie ab — es kommen noch Überraschungen genug . . Wir hören mit dem Reiben auf. Noch scheint nichts passiert zu sein. Und jetzt entfernen wir den *Kamm* — der körperliche Kontakt hört auf. Schon ist die *Katastrophe* da!

Es ist verdammt ungemütlich auf dem bißchen Kamm für diesen Haufen Elektronen; aber zu spät ist zu spät. Sie sitzen alle miteinander dort, eine Herde Todfeinde. Herunter können sie nicht mehr, ausstehen können sie sich auch nicht, und sie sehnen sich nach ihren auf dem Haar verbliebenen Partnern zurück. So stark ist die Sehnsucht, daß sie sich fast körperlich manifestiert. Wie ein dünner Gummifaden zieht sich die Sehnsucht durch den Raum — als hätte man die Seele dieser Freundschaft gereckt und gedehnt. Diese körperliche, verzweifelte Sehnsucht nennen wir sachlich: eine Feldlinie. Und dies ist das zweite Geheimnis.

Wie ein feiner biegsamer, wirbelnder Rauchfaden zieht sich die Anziehung durch den Äther — ein Faden, der in einem Elektron und einer positiven Ladung seine beiden Enden hat. So ungefähr."

Wir haben also zwei elektrische Elementarteilchen, deren Ladungen entgegengesetzt gleich, deren Gewichte aber verschieden sind (1:1840). Dies war die offizielle Ansicht — bis zum Jahre 1932. In diesem Jahr fand Anderson in Chikago das positive Elektron auf — ein positiv geladenes Elementarteilchen, und wie das Elektron vom Gewicht 1:1840 Proton. Erst wollte ihm niemand glauben. Zur Zeit aber besteht nicht der geringste Zweifel mehr. Auch positive Elektronen — Positronen — gibt es, reine positive Elektrizität, frei von Materie, wie es die wahrhaft ketzerisch anmutende neue Theorie von Dirac in England verlangte. Aber darüber später."

„Und was wird aus Ihrem Physikbuch? Werfen Sie es weg?"

„Ich habe in meinem Physikbuch das Wort ‚stets' mit roter Tinte durchgestrichen und ‚meistens' darüber geschrieben. So stimmt der Satz heute noch."

„Aha! So also steht die Schlacht jetzt. Elektrizität ist eine Art Stoff ..." „Ein nicht-materieller Stoff!" warf ich ein ... „von dem es kleinste Teile gibt. Es gibt zwei Arten: negative Elektrizität, deren Einheiten, die Elektronen, frei in der Naturgeschichte umherlaufen; positive Elektrizität, die meistens mit der Materie untrennbar verbunden ist. Nur selten findet man auch positive Elektronen, die keinen Halt an der Materie brauchen!" „Ganz richtig. Aber wir wollen uns nicht verhehlen, daß wir damit noch nicht erklärt haben, was Elektrizität ist. Wir haben nur festgestellt, in welcher Form dieses Etwas in der Natur vorkommt. An sich bleibt die Existenz eines negativen Elektrons oder einer positiven Ladung ein Wunder. Wir wollen dies das erste Wunder nennen. Und jetzt wollen wir zusehen, wie weit wir mit unseren Feststellungen kommen. Gleich und gleich gesellt sich nicht gern — zwei Elektronen stoßen sich gegenseitig ab wie zwei eifersüchtige Menschen. Sie können sich nicht riechen. Um so größer ist die Liebe zwischen einem Elektron und einer positiven Ladung. Und sie erklärt uns alles. Wenn man mit dem Kamm durch die Haare fährt, oder wenn man

Du trittst in ein Zimmer, wo du eine lustige oder gleichgültige Gesellschaft erwartest — und schon an der Tür überfällt dich ein jähes Gefühl, eine schreckhafte Ahnung, und im Moment, da du den Raum betrittst, spürst du es fast körperlich — eine seltsame Spannung liegt über der Versammlung. Es mag eine große Versammlung sein oder nur ein paar bunt zusammengewürfelte Menschen, und keiner nimmt von deiner Ankunft Notiz, höchstens, daß einer mit einer halbungeduldigen, halbabweisenden Gebärde den Kopf nach dir herumdreht. Was vorgeht — ob zwei Gegner plötzlich auf eine böse, mühsam beherrschte Weise zusammengeraten sind, ob ein gemeinsames bedrohliches Schicksal über den Anwesenden liegt — du weißt es nicht. Jeder einzelne sieht alltäglich aus, es ist ihm nichts anzumerken, beim ersten Blick wenigstens. Aber doch ist kein Zweifel, die ungeheure Intensität, die seltsam nahe, bedrückende Vorahnung erfüllt den Raum, lastet auf den Menschen. Du kannst dich ihr nicht entziehen. Du weißt — irgend etwas wird jetzt geschehen, bald wird es geschehen. Nur das auslösende Moment fehlt noch.

Es mag sonderbar erscheinen, daß wir Menschen nur in diesen seltenen Augenblicken, weit entrückt der Sphäre rationalen Begreifens, mit einer überrationalen und desto gewichtigeren Sicherheit diesen Spannungszustand fühlen, dies unfaßbare Fluidum — sonst nie. Man mag das als ein ‚Feld' bezeichnen, wie der Wissenschaftler sagen würde, eine Veränderung ist mit dem Raum vorgegangen, die Atmosphäre ist ‚geladen', man ahnt aufgespeicherte Energie, und vielleicht ist dieser Vergleich sogar wissenschaftlich fundiert."

Das Feld

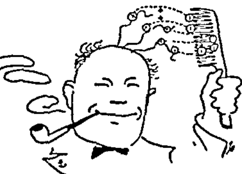
„Der Feldbegriff — ein Grundbegriff der modernen Physik. Wie alle leben unsere kurzen Tage in einem ‚Feld', das uns nur deshalb nicht auffällt, weil wir es zu erleben gewohnt sind. Es ist das ‚Schwerefeld' der Erde. Überall um uns herum ist der Raum

Und ich nahm die Pfeife aus dem Mund und blies einen schönen runden Rauchring vor mich hin. Nun trifft es sich gut, daß ich diese Kunst des Ringeblasens recht gut verstehe; ich bin sogar etwas eingebildet darauf. Und es lohnt sich, diese sonderbaren Gebilde zu betrachten — es lohnt sich wirklich.

Langsam treiben sie durch den Raum, ihre Teilchen bleiben eng zusammen, und man sieht, wie sie schnell und emsig um den Ring wirbeln. Dann verdickt er sich an einer Stelle: die bleibt stehen — der Rest zieht langsam weiter, in immer längeren, bald verschlungenen, bald geraden Fäden von der Luftströmung getrieben — aber jeder Faden streckt und dehnt sich und bleibt doch zäh und beharrlich erhalten, bis wir ihn aus den Augen verlieren.

„Ja — was ich sagen wollte. Die Ähnlichkeit einer elektrischen Feldlinie mit einem Wirbelfaden ist erstaunlich, sie geht viel tiefer, als man denkt. Und wie zwei Rauchringe sich nicht vermischen, sondern sich eher verbiegen, ausweichen und sich abstoßen; so stoßen sich auch zwei Feldlinien ab. In der Richtung der Feldlinien herrscht ein Zug wie in einem Gummifaden, die getrennten Ladungen wollen zueinander, die ‚Sehnsucht', wie ich sagte. Quer zu ihnen aber herrscht ein Druck — sie streben auseinander. Deshalb sträuben sich die Haare — der Querdruck der Feldlinien treibt sie auseinander."

„Hör mal, junger Mann", sagte da plötzlich der Sohn des Hauses, „ich glaube, du sündigst jetzt selbst gegen den heiligen Geist der Klarheit. Du redest da von Feldlinien, aber du hast noch kein Wort von einem Feld gesagt. Ich jedenfalls weiß nicht, was du damit meinen könntest. Ich habe noch kein Feld erlebt."



„Ein Feld — doch, sicher. Wem ging es nicht schon so?

Feldlinien einstellen. Dann hätten wir ein Bild unseres Schwerefeldes. Und nun begreift man, was die Feldlinien sind: Sie geben die Richtung der Kraft an jeder Stelle des Raumes an. In dieser Richtung wird jeder Körper, der der Kraft unterworfen ist, sich bewegen, jeder schwere Körper fällt längs einer solchen Feldlinie.

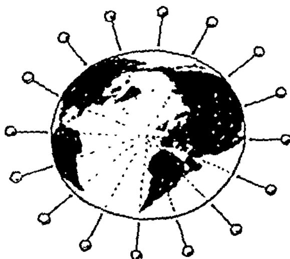
Wir wissen, warum der Ball herabfällt; er wird von der Erde angezogen und läuft ihrem Mittelpunkt entgegen. Alle Körper sind schwer — und alle also ziehen sich gegenseitig an. Wenn der Ball herabfällt, so ‚fällt' ihm die ganze Erde ein winziges Stück entgegen. Aber es folgt noch mehr.

Es erscheint uns heute selbstverständlich, daß die Feldlinien der Erde bis ins Unendliche reichen, daß also auch die Anziehungskraft der Erde, obwohl sie immer schwächer wird, doch eigentlich nie ganz aufhört, wie weit man sich auch von ihr entfernt. Frühere Zeiten glaubten, daß der Bereich der Schwere nur wie ein dünner Rauchschleier über der Erde lagert, und ein Jesuitenpater versuchte, eine Kanonenkugel aus dieser Anziehungsschicht herauszuschießen. Erst Newton schaffte hier Klarheit. Der Schußversuch könnte nur gelingen, wenn die Kugel eine Anfangsgeschwindigkeit von 11 km/sec besitzt; dann hat sie — obwohl sie genau genommen niemals dem Schwerefeld der Erde entkommen kann — doch immer genügend Bewegungsenergie, um die, nach außen immer kleiner werdende, Anziehungskraft der Erde zu überwinden. Es ist auch klar, daß man auf dem Mond hauptsächlich das Schwerefeld des Mondes bemerken wird. Dennoch übt dort das Erdfeld noch eine beträchtliche Wirkung aus, sogar wir auf der Erde sehen täglich die handgreifliche Wirkung des viel kleineren Mondfeldes: die riesigen Wassermassen, die im steten Wechsel von Ebbe und Flut um die Erde strömen, werden von der Anziehungskraft des Mondes zu ihrem gigantischen Kreislauf gezwungen.

Wenn bei Röchlings Onkel Julius aus Königsberg zu Besuch ist, entbrennt abends ein gewaltiger Streit, wohin man denn nun geht. Vater Röchling will mit Julius in seine Stammkneipe,

in einem merkwürdigen Zustand, den wir bloß aus lieber Gewohnheit normal nennen. Wir nehmen einen Ball, halten ihn in die Luft und lassen los — und von selbst, von einem unwiderstehlichen Zwang getrieben, beginnt er, langsam erst, dann schneller herabzufallen, zur Erde. Warum blieb er denn nicht in der Luft hängen, warum blieb er nicht in Ruhe? Er befand sich eben im Schwerefeld unseres Planeten, und ob er wollte oder nicht, er mußte dem Zwang des Feldes, seiner inneren Spannung folgen und herabstürzen, so weit er konnte. Das ist selbstverständlich? O nein, wenn man denselben Ball mitten ins Weltall, ganz allein, aussetzt und sich alle Sterne fortdenkt, so bleibt er zufrieden und gemächlich auf seinem Stammplatz liegen — es besteht für ihn gar kein Grund, sich von dort zu entfernen. Hier bin ich und hier bleibe ich, meint er.

Die Feldlinien der Erde sind leicht gefunden — sie laufen geradlinig von der Erde fort. Man könnte eine Horde Piccardscher



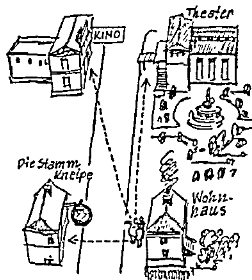
Stratosphären-Ballons bemannen und sie hinaufsteigen lassen, daß sie den Himmel verdunkeln rings um die Erde. Und wenn man von jedem eine lange, dünne Schnur mit einem Gewicht herabhängen läßt, so wird sie sich, dem Zug der Schwere folgend, in den

Feldlinien einstellen. Dann hätten wir ein Bild unseres Schwerefeldes. Und nun begreift man, was die Feldlinien sind: Sie geben die Richtung der Kraft an jeder Stelle des Raumes an. In dieser Richtung wird jeder Körper, der der Kraft unterworfen ist, sich bewegen, jeder schwere Körper fällt längs einer solchen Feldlinie.

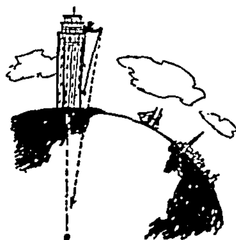
Wir wissen, warum der Ball herabfällt; er wird von der Erde angezogen und läuft ihrem Mittelpunkt entgegen. Alle Körper sind schwer — und alle also ziehen sich gegenseitig an. Wenn der Ball herabfällt, so ‚fällt' ihm die ganze Erde ein winziges Stück entgegen. Aber es folgt noch mehr.

Es erscheint uns heute selbstverständlich, daß die Feldlinien der Erde bis ins Unendliche reichen, daß also auch die Anziehungskraft der Erde, obwohl sie immer schwächer wird, doch eigentlich nie ganz aufhört, wie weit man sich auch von ihr entfernt. Frühere Zeiten glaubten, daß der Bereich der Schwere nur wie ein dünner Rauchschleier über der Erde lagert, und ein Jesuitenpater versuchte, eine Kanonenkugel aus dieser Anziehungsschicht herauszuschießen. Erst Newton schaffte hier Klarheit. Der Schußversuch könnte nur gelingen, wenn die Kugel eine Anfangsgeschwindigkeit von 11 km/sec besitzt; dann hat sie — obwohl sie genau genommen niemals dem Schwerefeld der Erde entkommen kann — doch immer genügend Bewegungsenergie, um die, nach außen immer kleiner werdende, Anziehungskraft der Erde zu überwinden. Es ist auch klar, daß man auf dem Mond hauptsächlich das Schwerefeld des Mondes bemerken wird. Dennoch übt dort das Erdfeld noch eine beträchtliche Wirkung aus; sogar wir auf der Erde sehen täglich die handgreifliche Wirkung des viel kleineren Mondfeldes: die riesigen Wassermassen, die im steten Wechsel von Ebbe und Flut um die Erde strömen, werden von der Anziehungskraft des Mondes zu ihrem gigantischen Kreislauf gezwungen.

Wenn bei Röchlings Onkel Julius aus Königsberg zu Besuch ist, entbrennt abends ein gewaltiger Streit, wohin man denn nun geht. Vater Röchling will mit Julius in seine Stammkneipe,



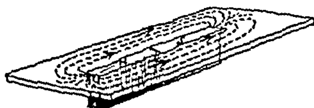
gerade gegenüber; aber seine Frau, die mehr für Bildung ist, besteht auf dem Theater, die Straße herunter. Na, und schließlich einigen sich die Parteien auf eine mittlere Linie — man geht ins Kino — schräg über die Straße: So was kommt heraus, wenn zwei verschieden gerichtete Kräfte am Werk sind. Wir lassen jetzt die Kugel vom Woolworth-Gebäude in New York hinabfallen. Wäre nur das Gebäude und die Kugel im Raum — die Kugel strebte etwas nach links zum Haus hin. So aber ist noch die Erde da und sagt: Hier kommst du her — zu meinem Mittelpunkt. Und als Resultat einigt man sich auf eine mittlere Linie; genaue wissenschaftliche Fallversuche haben das wirklich gezeigt. Die Kugel schlägt nicht genau ‚unter' ihrem Stützpunkt auf, sondern ein klein wenig näher zum Haus." „Prächtig, das will ich morgen gleich versuchen", sagt der Sohn. „Bitte, warum nicht. Aber die Abweichung ist so verschwindend gering, weil die Erde soviel schwerer ist als das Haus. Selbst zwei große Panzerkreuzer mit ihren gewaltigen Massen ziehen sich bei 1 Meter Abstand nur mit einer Kraft von 1 Milligramm an. Dennoch — prinzipiell würde dein Versuch



gehen. Noch deutlicher wäre es, wenn statt eines Hauses ein Bergmassiv dastände. Dann sind die Feldlinien zum Berg hin gekrümmt, sie werden durch das Gebirge deformiert. Und immer längs dieser Linien würde ein freier Körper fallen.

Es gibt auf der Erde ein zweites Feld — ein Feld, das wir schon eher als bemerkenswert empfinden. Das Magnetfeld. Ich entsinne mich genau, wie ich als kleiner Junge zum erstenmal über das Wunder des Kompasses erstaunte und ungläubig immer und immer wieder versuchte, ob die kleine blaue Stahlnadel wirklich stets nach Norden zeigt. ‚Warum ist das so?' wollte ich wissen. ‚Das ist eine Magnetnadel', wurde mir geantwortet, ‚sie zeigt immer zum magnetischen Pol der Erde.' Damit mußte ich mich zufrieden geben. Um das exakte physikalische Phänomen sichtbar zu machen, legen wir einen simplen Magnetstab auf den Tisch vor uns. Es ist ein Stahlstab, wie ein großer Bleistift, die eine, die Nord-Seite rot lackiert. Er liegt vor uns und bemüht sich, denkbar harmlos auszusehen. Aber unsichtbar lagert um ihn das Feld.

Wir machen den altbekannten Schulversuch. Ein Blatt Papier wird über den Magneten gelegt, etwas Eisenfeilspäne darauf geschüttet und leicht an das Papier geklopft. Wie von selbst, einem



unwiderstehlichen Zwang folgend, ordnen sich die Feilspäne zu den Linien, die wir alle kennen. Eine kleine Magnetnadel, z. B. ein magnetischer Grammophonstift, legt sich, wenn wir sie irgendwie auf das Papier bringen, von selbst in die Richtung dieser Feldlinien.

Feldlinien sind es. Der Magnet, so unschuldig er aussah, hat durch seine bloße Gegenwart den Raum um sich verwandelt, beeinflußt.

Er hat den Raum in einen eigentümlichen Spannungszustand versetzt — wir sprechen von einem ‚magnetischen Feld'. Wo immer der Magnet sich befindet, ist ein Feld um ihn herum, ist der Raum um ihn von jenem seltsamen Spannungszustand erfüllt, dem wir nichts ansehen, der sich aber sofort verrät, wenn wir die Feilspäne oder die Grammophonnadel leise berühren. Wohin wir ihn tragen — er führt sein Feld mit sich, wie ein bedeutender Mensch das Fluidum seiner Persönlichkeit mit sich führt.

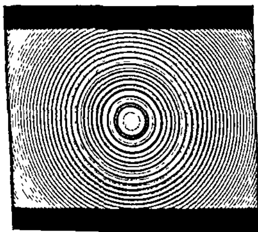
Der zweite, altbekannte Versuch: Eine Siegellackstange wird mit einem Fell gerieben (wir hätten auch den Kamm von vorher nehmen können!), auf den Tisch gelegt, das Papier darüber gebreitet, mit Gips bestreut, geklopft — und die Gipsstäubchen ordnen sich in Feldlinien. Man weiß, Siegellack wird durch das Reiben elektrisch. Und wir sehen dann — auch hier entsteht ringsherum ein elektrisches Feld. Auch elektrisch geladene Körper verändern den Raum um sich herum, unsichtbar, geheimnisvoll wie der Magnet. Auch sie führen ihr Feld mit sich, wenn man sie fortbewegt. Und ist die Siegellackstange fort, so mag man das Gipspulver schütteln und klopfen, bis man schwarz wird — es denkt nicht daran, sich zu ordnen. Das Feld verschwindet sofort. Mit dem Abtreten der Stange begibt sich der Raum in seinen alten spannungslosen, indifferenten Zustand zurück. Es ist so, als wenn die beiden Kampfhähne aus der Gesellschaft verschwinden und mit ihrem Abschied sich die Spannung im Zimmer löst und ein harmloses, gleichgültiges Geschwätze beginnt. Das Feld brach zusammen mit dem Verschwinden seiner Ursache.

Das also ist der Begriff des Feldes, um es noch einmal zu sagen: In einem Feld, sei es elektrischer, magnetischer Natur oder ein Schwerefeld, besteht in jedem Punkt des Raumes um den erregenden Körper herum ein sonderbarer Spannungszustand. In jedem Punkt des Feldes wirkt auf einen geeigneten Körper eine Kraft von bestimmter Richtung und Größe. Ein frei beweglicher Körper im Feld bewegt sich gemäß dieser Feldkraft. Man kann das



Haspas

Prismenspektrogramm von leuchtendem Eisendampf



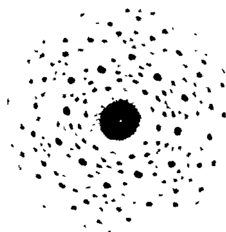
Karlson

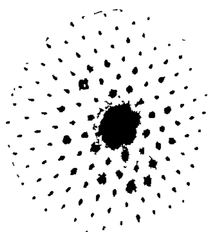
Hyperfeinstruktur der Natriumlinien
(Interferometeraufnahme)



Wide World

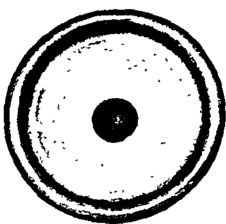
Ein 5-m-Spiegel für die Mt.-Wilson-Sternwarte im Bau

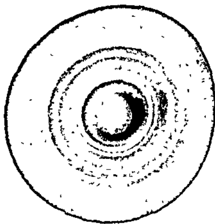




Rupp

Laue-Diagramme bei der Durchstrahlung eines Kristalls; links mit Röntgenstrahlen, rechts mit Elektronen





G. P. Thomson

Beugungsfiguren bei der Durchstrahlung einer Metallfolie, links Röntgenstrahlen, rechts Elektronen

Elektronenwellen

Feld durch Feldlinien veranschaulichen, wenn man sich eben in jedem Punkt die Richtung der Kraft aufzeichnet. Dann bewegt sich der freie Körper im Feld längs einer Kraftlinie. Es ist ganz so, als wenn die Kraftlinie eine enge Röhre wäre, in der die Probekugel nun entlang rollt, aus der sie nicht mehr hinaus kann.

Was ist ein geeigneter Körper? Ganz einfach zu sagen: im Schwerefeld — ein schwerer Körper, im Magnetfeld ein magnetischer, im elektrischen Feld ein elektrischer. Kurz, er muß den Feldkräften eine Angriffsmöglichkeit bieten. Wenn zu Onkel Julius, der robust und energisch ist, etwa ein hektisch aussehender Jüngling im schwarzen Schlapphut käme und ihm als drittes einen Abend mit tänzerischer Gymnastik oder einen Diskussions-Abend über Baudelaire und Verlaine vorschlüge, würde ihn der Onkel nur groß anschauen, ohne sich in seinem Verhalten von diesem völlig einflußlosen Wesen im mindesten beeinflussen zu lassen. So wird ein unmagnetischer Körper sich um ein Magnetfeld niemals kümmern, was man ja sofort merkt, wenn man eine Grammophonnadel aus Messing statt aus Stahl einzuschmuggeln versucht."

Fern- und Nahewirkung

„Michael Faraday, der vom Buchbinderlehrling zum Professor und Direktor der Royal Institution in London aufstieg — Michael Faraday war der Mann, in dessen Geist zum erstenmal diese kühne Vorstellung aufstieg, der zum erstenmal den Gedanken an das Feld zu denken wagte. Er war Experimentator, ein unermüdlicher Forscher; aber diese geniale Intuition führte ihn weit, weit über seine Experimente, über seine ganze Zeit hinaus. Blitzartig, mit fast schmerzhafter Klarheit wird ihm diese Erkenntnis gekommen sein. Es war *einer* der großen Augenblicke der Menschheit. Faraday mag sich gegen seine eigene Auffassung gewehrt haben; sie mag ihm unerträglich, sie mag ihm sinnlos erschienen sein. Aber die herrliche Freiheit seines Geistes! Er war kein Akademiker. Er

kam zur Wissenschaft aus einem inneren Zwang, und er ging niemals gebahnte Wege. Darin lag seine Stärke. So wird es ihm schließlich leicht gefallen sein, seiner Erkenntnis zu glauben, leichter als seinen Zeitgenossen. Erst 50 Jahre später, eigentlich erst in unserer Zeit, hat sich die ganze gewaltige Tiefe seines Gedankens offenbart.

Newton. Er hatte die Bewegung der Himmelskörper eingefangen in sein wunderbar einfaches, mathematisches Gesetz: Die Anziehungskraft zwischen zwei schweren Körpern hängt nur ab von ihrer Masse und ihrer Entfernung. Aber über die Natur der Kraft schwieg Newton. Zwei Körper wirken über den leeren Raum hinweg aufeinander; wie — das ist ihre Sache. Also — ein Wunder? Schön, aber wir akzeptieren dieses Wunder und bauen unsere Theorie darauf auf. Und sie erklärt uns alle Beobachtungstatsachen, die Planetenbewegungen, Sonnenfinsternisse, Mondfinsternisse — wir können uns auf das Wunder verlassen. Es ist ein pünktliches, ein bürgerliches, ein gezähmtes Wunder.

Faraday hat sich damit trotzdem nicht zufrieden gegeben. Er fragte weiter — er fragte nach der Anatomie des Wunders. Und es war ihm selbstverständlich, daß zwei Körper nicht gewissermaßen ‚hinten herum' aufeinander wirken können — daß das durch den Raum hindurch geschehen und daß der Raum davon etwas merken muß. Und wieder einmal zeigte sich, daß zu frühzeitiger Verzicht das Wissen ausschließt. Bescheidenheit ist gut, aber zu frühe Bescheidung führt auch nicht zur Erkenntnis.

Newtons Gravitationsgesetz galt als Ideal einer wissenschaftlichen Naturbeschreibung. Coulomb fand das Gesetz, nach dem elektrisch geladene Körper aufeinander wirken. Und es war unheimlich und überzeugend zugleich, daß dies — Newtons Gesetz war! Die mathematische Form beider Gesetze ist absolut die gleiche. Die Kraft zwischen zwei Körpern hängt nur ab von ihrer elektrischen Ladung und ihrer Entfernung.

Die Kraft zwischen Sonne und Planeten überbrückt den leeren Raum; aber auch die elektrischen Anziehungskräfte wirken über

den leeren Raum hinweg. Man könnte alle unsere elektrischen Versuche in einer luftleer gepumpten Glasglocke ausführen; und sie würden genau wie sonst immer auslaufen, mit ganz geringen, kaum meßbaren Abweichungen höchstens.

Gerade in diesem leeren Raum aber entsteht und erhält sich das Feld. Und das Feld ist für Faraday etwas physikalisch Reales, etwas Wirkliches, ja, das einzig Wesentliche. Das Feld allein ist wichtig; die Ladungen nur insoweit, als sie das Feld aufbauen, als sie das Nichts in jenen seltsamen Spannungszustand versetzen. Es gehört unvorstellbare Kühnheit dazu, die Elektrizität auf diese Weise aus den Fesseln der Materie zu befreien und in den leeren Raum zu verlegen. Es ist eine Kühnheit, die dem Wesen der Elektrizität auf wunderbare Weise gerecht wird. Auch Newton ist der Feld-Gedanke gekommen, auch ihm schien er verlockend — er hat ihn nicht gewagt. Der Schritt war selbst ihm unheimlich.

Es ist im Grunde nur eine Gedankenbrücke, wenn man vom Äther spricht. Der Äther soll ein Medium sein, ein freies, unmaterielles Etwas, das alle Körper durchdringt und in dem das Feld seinen Sitz hat. Ein elektrisches oder magnetisches Feld bedeutet einen Spannungszustand des Äthers. Überall also, auch da, wo ‚nichts' ist, ist noch Äther. Wie man auch zum Äther stehen mag — manchem kommt seine Existenz heute etwas fragwürdig vor, andere reden am liebsten überhaupt nicht mehr von ihm — wir wollen diese Hypothese vorläufig anerkennen; sie ist nützlich für uns und sprachlich bequem."

„Gut. Warum soll man den Äther nicht leben lassen? Und ist das nun alles?"

„Ich hätte gern noch ein paar Worte über das Feld gesagt. Wir haben ein ganz gutes Gefühl dafür, was wir ‚Feldstärke' nennen würden. An einer Stelle, wo sich die Feldlinien zusammendrängen, wo also viele von ihnen auf den Quadratzentimeter kommen, ist auch die Kraft auf den Probekörper groß. Bedenken Sie immer, daß wir die Feldlinien mit gespannten Gummifäden verglichen haben.

kam zur Wissenschaft aus einem inneren Zwang, und er ging niemals gebahnte Wege. Darin lag seine Stärke. So wird es ihm schließlich leicht gefallen sein, seiner Erkenntnis zu glauben, leichter als seinen Zeitgenossen. Erst 50 Jahre später, eigentlich erst in unserer Zeit, hat sich die ganze gewaltige Tiefe seines Gedankens offenbart.

Newton. Er hatte die Bewegung der Himmelskörper eingefangen in sein wunderbar einfaches, mathematisches Gesetz: Die Anziehungskraft zwischen zwei schweren Körpern hängt nur ab von ihrer Masse und ihrer Entfernung. Aber über die Natur der Kraft schwieg Newton. Zwei Körper wirken über den leeren Raum hinweg aufeinander; wie — das ist ihre Sache. Also — ein Wunder? Schön, aber wir akzeptieren dieses Wunder und bauen unsere Theorie darauf auf. Und sie erklärt uns alle Beobachtungs-Tatsachen, die Planetenbewegungen, Sonnenfinsternisse, Mondfinsternisse — wir können uns auf das Wunder verlassen. Es ist ein pünktliches, ein bürgerliches, ein gezähmtes Wunder.

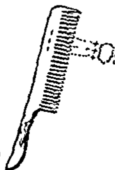
Faraday hat sich damit trotzdem nicht zufrieden gegeben. Er fragte weiter — er fragte nach der Anatomie des Wunders. Und es war ihm selbstverständlich, daß zwei Körper nicht gewissermaßen ‚hinten herum' aufeinander wirken können — daß das durch den Raum hindurch geschehen und daß der Raum davon etwas merken muß. Und wieder einmal zeigte sich, daß zu frühzeitiger Verzicht das Wissen ausschließt. Bescheidenheit ist gut, aber zu frühe Bescheidung führt auch nicht zur Erkenntnis.

Newtons Gravitationsgesetz galt als Ideal einer wissenschaftlichen Naturbeschreibung. Coulomb fand das Gesetz, nach dem elektrisch geladene Körper aufeinander wirken. Und es war unheimlich und überzeugend zugleich, daß dies — Newtons Gesetz war! Die mathematische Form beider Gesetze ist absolut die gleiche. Die Kraft zwischen zwei Körpern hängt nur ab von ihrer elektrischen Ladung und ihrer Entfernung.

Die Kraft zwischen Sonne und Planeten überbrückt den leeren Raum; aber auch die elektrischen Anziehungskräfte wirken über

Begriff des Feldes besser angepaßt — und vor allem spricht eins für sie: die von dem großen englischen Physiker Maxwell angegebene mathematische Methode, die man in der Feldphysik benutzt, hat keinen Raum für gesonderte Feldlinien; die Maxwellschen Feld-Gleichungen verlangen ein lückenloses, stetiges Feld. Und es gibt wenig Dinge in der Physik, die die Vollkommenheit der Maxwellschen Gleichungen erreichen, ihre klassische Präzision und Eleganz, ihre fast unheimliche Tiefe. Eine ganze Welt liegt in vier Zeilen beschlossen. Die Formeln scheinen mehr zu wissen, weiter zu führen, als wir ahnen; selbst zu leben nach ihren eigenen Gesetzen, die nicht unsere sind. Die Mathematik ist klug, klüger oft als ihre Entdecker.

Aber ich denke, wir kehren zu unserem Thema zurück.



Wir haben das Haar durchgekämmt und den Kamm entfernt — ihn nahe an die Papierschnitzel herangebracht. Die Sehnsucht zwischen positiver und negativer Ladung, wie ich sagte, das System der Feldlinien, zieht sich durch den Raum.

Jetzt naht der Versucher. Nehmen wir an, eine positive Ladung erscheint auf dem Plan. Sie begibt sich geradenwegs in eine Feldlinie hinein und bietet sich freundlich an — *hier bin ich*. Und nun zeigt sich die moralische Unzuverlässigkeit der Elektronen. Du bist positiv, heißt es, du bist sympathisch. Mann ist Mann!

Vergessen ist der so weit entfernte rechtmäßige Partner. Alle Freundschaft bringt man dem neu erschienenen Bewerber entgegen — und die positive Ladung beginnt, dem Zug des Elektrons auf dem Kamm folgend, längs der Feldlinie zu ihm, in seine Arme zu rutschen.

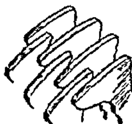
Aber auch wenn der Probekörper ‚unelektrisch' war wie unsere Papierschnitzel — er kann ja elektrisch werden. Durch den Zug der Feldlinien werden im Papier die Verbindungen gestört, die positiven

Viel Feldlinien, viel Kraft

Der zweite Begriff heißt: Spannung. Es tut mir leid, aber ich weiß wieder kein besseres Beispiel als den Gummifaden — und weiter brauche ich eigentlich nichts zu sagen. So wie man eine gewisse Arbeit leisten muß, um den Gummifaden zu spannen, braucht man eine gewisse Arbeit, wenn man eine negative und eine positive Ladung vorsichtig mit den Fingerspitzen anfaßt und sie auseinanderzerrt. Je größer diese Arbeit, desto größer die Spannung. Eben diese Arbeit aber steckt andererseits — unsichtbar — im Feld. Man kann sagen, es verlangt eine gewisse Arbeit, um die beiden Ladungen entgegen ihrer Anziehungskraft auseinander zu zerren. Man kann auch sagen, es braucht eine gewisse Arbeit, die beiden Ladungen zu entfernen, weil man dabei den ganzen Äther ringsherum in jenen eigentlichen Spannungszustand versetzen muß. So hätte Faraday gesagt.“ „Ich habe eigentlich schon lange eine Frage auf dem Herzen“, warf der Hausherr ein. „Bitte“ ... „Sie kennen doch die traurige Geschichte von Morgensterns Lattenzaun: ‚Es war einmal ein Lattenzaun, mit Zwischenraum, hindurch zu schaun.‘ Also, wie ist das mit den Feldlinien? Was ist zwischen zwei Feldlinien?“ „Sehen Sie, nun tut es mir schon leid, daß ich Ihnen diese Frage erlaubt habe, denn im Grunde kann ich sie nicht beantworten. Man kann sich auf den Standpunkt stellen, daß eine einzelne Feldlinie tatsächlich etwas Reales darstellt, daß ihr Kopfende von einer positiven Ladung, ihr Schwanz von einem Elektron gebildet wird. Das Feld wäre dann tatsächlich so ein Gewebe von nebeneinander laufenden Kraftlinienfäden mit Zwischenraum, hindurch zu schaun; und nur, weil es so scheußlich viel Elektronen gibt, glauben wir, *überall* im Raum diesen Spannungszustand zu finden. Das ist die Auffassung von Philip Lenard, dem großen Heidelberger Physiker. Sie hat manches für sich, wenn sie auch experimentell — schon wegen der Dichte des Gewebes — kaum von der zweiten unterschieden werden kann: Daß der Äther wirklich *überall* gespannt ist, daß man also gar nicht von einem Zwischenraum reden darf. Es ist eine stetige Auffassung. Sie scheint dem

Aber — wenngleich die Paare nicht zusammenkommen können, die Sehnsucht überwiegt, und die gegenseitige Abstoßung und die Unannehmlichkeiten der überfüllten Insel werden in Kauf genommen.

Elektrisch gesprochen: ein Kondensator besteht aus zwei gegenüberliegenden Metallflächen, auf denen man elektrische Ladungen ansammeln (= kondensieren) kann, weil ihre wechselseitige Anziehung quer über den trennenden Spalt die Abstoßung aufhebt. Kapazität ist das relative **Fassungsvermögen**, das Verhältnis von festgehaltener Elektrizitätsmenge zu entstehender Spannung. Ein guter Kondensator, ein solcher von großer Kapazität, kann also schon bei geringer Spannung eine große Menge festhalten, denn die Spannung, das entstehende Feld, ist ja die Ursache für die Möglichkeit der Kondensation. (Entsprechend wird man bei den Inseln von großer Kapazität reden, wenn bei relativ geringer Anziehungskraft bzw. Sehnsucht — also vielleicht bei Eheleuten — dennoch eine große Menge Platz findet.) Am günstigsten sind flache, ebene Scheiben in geringem Abstand. Häufig verwendet man ganze Plattensätze, die kammartig ineinander greifen. (Drehkondensatoren der Radiotechnik.) Verbindet man die Kondensatorplatten durch einen Draht — oder schlägt man eine Brücke zwischen den Inseln — so stürzen sich die Paare in die Arme. Da Elektronen sich frei durch ein Metall bewegen können, steht ihrem Ausgleich nichts mehr im Wege. Sie machen sich, dem Zuge der Feldlinien folgend, quer durch das Metall auf den Weg — sie strömen ab, und positive und negative Ladung vereinigen sich wieder. Die Elektrizitäten haben sich durch den Leiter hindurch ausgeglichen. Der Kondensator ist entladen. Das Feld ist verschwunden — es bricht im Leiter zusammen. Damit ist der Fall erledigt, und es herrscht Ruhe.



Ladungen zieht es in Richtung des Feldes, die negativen wollen nichts davon wissen, sie fliehen so weit wie möglich die Nähe anderer Elektronen. Das Resultat ist eine Trennung der Ladungen und ein Überwiegen der Anziehungskraft, und der Probekörper, der anscheinend unelektrisch war, bewegt sich nun längs der Kraftlinien. Es ist gar keine Hexerei dabei — außer der einen, der Tatsache, daß es Elektrizität gibt und daß sich Plus und Minus anziehen. Sie freilich ist unerklärlich — und wird es wohl bleiben. Grenzen unserer Erkenntnis können wir eben nicht überschreiten.

Leiter und Nichtleiter

Die Ladungstrennung im Papier war allerdings nur mangelhaft. In einem Probekörper aus Metall wäre sie vollkommen.

Was sind Metalle? Unmoralische Anstalten, nach unserer Anschauung. Denn in den Metallen sind alle Bande von Zucht und Ordnung aufgehoben, wild können die Elektronen in ihnen umherschießen, frei und fast ungehindert sich dem nächsten in die Arme werfen. Es ist kein Wunder, daß die Metalle in der Elektrizitätslehre eine besondere Stellung einnehmen müssen.



In einem elektrischen Leiter — einem Metall — ist die Elektrizität mehr oder weniger frei beweglich. In Nichtleitern, Isolatoren wie Bernstein, Glas, Porzellan, ist sie an ihren Platz gebunden.



Und jetzt können wir schon ein paar Apparate verstehen. Dieses hier ist ein Kondensator: Zwei Inseln, durch einen unüberquerbaren Graben getrennt. Auf der einen wird eine ganze Horde Männer zusammengetrieben — auf der anderen sind nur Frauen. Sie konnten zusammen nicht kommen — das Wasser war viel zu tief.

„Kleinigkeiten sind es, immer wieder Kleinigkeiten, hinter denen sich das Neue verbirgt. Wenn Sie so wollen, können wir nur deshalb heute mit der Straßenbahn nach Hause fahren, weil im Jahre 1789 Luigi Galvani, der italienische Arzt, das Zucken eines Froschschenkels bemerkt hatte und weil er nicht mit einem Achselzucken darüber hinweggegangen war. Jedesmal, wenn aus einer benachbarten Elektrisiermaschine ein Funken übersprang, zuckte dieser frisch präparierte Schenkel, der auf einer Metallplatte lag, verräterisch. Aber er zuckte auch, als er an einem kupfernen Haken an einem Eisengitter aufgehängt wurde — jedesmal dann, wenn er das Gitter berührte, ganz ohne Elektrisiermaschine. Und dies ist der wesentliche Versuch — Alessandro Volta hat es zuerst erkannt; er hat ihn freilich auch noch nicht richtig gedeutet. Galvani hatte an tierische Elektrizität geglaubt; Volta dachte an Kontakt-Elektrizität, die bei der Berührung zweier verschiedener Metalle entstand, und die, durch den frischen Froschschenkel fließend, die noch reizungsfähigen Muskeln erregte. Heute wissen wir, daß zwei Metalle und die Flüssigkeit im Froschschenkel notwendig waren und daß die Elektrizität durch einen chemischen Prozeß entsteht.



Wir schließen das Kapitel ‚Reibungselektrizität'. Es steht im Beginn, es war wissenschaftlich interessant und brachte manche Erkenntnis. Aber was hat man in früheren Zeiten mit der Elektrizität anzufangen gewußt? Den Tanz winziger Papierkügelchen, elektrischer Glockenspiele, kleine Fünkchen, die man einander aus der Nase zieht — Kinderspiele, Unterhaltungen in den Salons einer schöngeistigen Gesellschaft.

Mit Voltas Entdeckung beginnt ein neuer Abschnitt in der Geschichte der Elektrizität. Sie ist nun erwachsen — sie wird sich anschicken, wirkliche Arbeit zu verrichten. Die ruhigen, stetig

Es darf nach unseren Anschauungen nicht verwundern, daß die Beschaffenheit des Raums zwischen den Platten eine Rolle spielen wird, denn in ihm sitzt das Feld. Verstärkt man das Feld auf irgendeine Weise — wenn man zum Beispiel Glas oder Glimmer oder Schwefelkohlenstoff statt Luft zwischen die Platten bringt — so steigt die Kapazität, der Kondensator vermag bei derselben Spannung nunmehr eine größere Elektrizitäts-Menge zu binden. Tatsächlich waren es diese Versuche, die Faraday zum erstenmal den Gedanken der Nahewirkung aufdrängten, den Feldgedanken.

Es ist so, als verstärkte man die Sehnsucht und Hoffnung der Inselbewohner dadurch, daß man das trennende Wasser zum Beispiel langsam versumpfen läßt. Dann sind die Inseln praktisch zwar noch getrennt; aber wie gesagt, die Hoffnung, mal zueinander zu gelangen, ist gestiegen und wird immer größer, je fester die anfangs schwache Decke über dem Sumpf wird. Und wenn sie schließlich wirklich tragen würde — dann hätten wir eine Möglichkeit der direkten Vereinigung, wir haben den Zwischenraum mit Metall ausgefüllt, einen direkten Übergang geschaffen.

Nun gibt es Anordnungen, die ständig neue Elektronen nachliefern, die ständig eine Spannung aufrecht erhalten. Wenn an das Inselbeispiel zurückgedacht werden soll — beim ersten Fall war es nur eine *bestimmte* Anzahl Menschen, die über die Brücke marschierte. Aber jetzt erscheinen auf der einen Insel immer neue Leute, immer neue Massen, wie aus der Erde gestampft. Die Folge ist, daß ein ständiger, konstanter Strom durch den Draht fließt. Denn nichts anderes ist der elektrische Strom. An einer Seite — der negativen — strömen, wie aus einer nie versiegenden Quelle, immer neue Elektronen hervor, sie fließen durch den Draht zur anderen Elektrode und werden dort neutralisiert. So geht das weiter, bis einmal die Quelle doch erschöpft ist, die Nachlieferung langsam wird und ganz aufhört. Dann stirbt der Strom."

„Kleinigkeiten sind es, immer wieder Kleinigkeiten, hinter denen sich das Neue verbirgt. Wenn Sie so wollen, können wir nur deshalb heute mit der Straßenbahn nach Hause fahren, weil im Jahre 1789 Luigi Galvani, der italienische Arzt, das Zucken eines Froschschenkels bemerkt hatte und weil er nicht mit einem Achselzucken darüber hinweggegangen war. Jedesmal, wenn aus einer benachbarten Elektrisiermaschine ein Funken übersprang, zuckte dieser frisch präparierte Schenkel, der auf einer Metallplatte lag, verräterisch. Aber er zuckte auch, als er an einem kupfernen Haken an einem Eisengitter aufgehängt wurde — jedesmal dann, wenn er das Gitter berührte, ganz ohne Elektrisiermaschine. Und dies ist der wesentliche Versuch — Alessandro Volta hat es zuerst erkannt; er hat ihn freilich auch noch nicht richtig gedeutet. Galvani hatte an tierische Elektrizität geglaubt; Volta dachte an Kontakt-Elektrizität, die bei der Berührung zweier verschiedener Metalle entstand, und die, durch den frischen Froschschenkel fließend, die noch reizungsfähigen Muskeln erregte. Heute wissen wir, daß zwei Metalle und die Flüssigkeit im Froschschenkel notwendig waren und daß die Elektrizität durch einen chemischen Prozeß entsteht.



Wir schließen das Kapitel ‚Reibungselektrizität'. Es steht im Beginn, es war wissenschaftlich interessant und brachte manche Erkenntnis. Aber was hat man in früheren Zeiten mit der Elektrizität anzufangen gewußt? Den Tanz winziger Papierkügelchen, elektrischer Glockenspiele, kleine Fünkchen, die man einander aus der Nase zieht — Kinderspiele, Unterhaltungen in den Salons einer schöngeistigen Gesellschaft.

Mit Voltas Entdeckung beginnt ein neuer Abschnitt in der Geschichte der Elektrizität. Sie ist nun erwachsen — sie wird sich anschicken, wirkliche Arbeit zu verrichten. Die ruhigen, stetig

Es darf nach unseren Anschauungen nicht verwundern, daß die Beschaffenheit des Raums zwischen den Platten eine Rolle spielen wird, denn in ihm sitzt das Feld. Verstärkt man das Feld auf irgendeine Weise — wenn man zum Beispiel Glas oder Glimmer oder Schwefelkohlenstoff statt Luft zwischen die Platten bringt — so steigt die Kapazität, der Kondensator vermag bei derselben Spannung nunmehr eine größere Elektrizitäts-Menge zu binden. Tatsächlich waren es diese Versuche, die Faraday zum erstenmal den Gedanken der Nahewirkung aufdrängten, den Feldgedanken.

Es ist so, als verstärkte man die Sehnsucht und Hoffnung der Inselbewohner dadurch, daß man das trennende Wasser zum Beispiel langsam versumpfen läßt. Dann sind die Inseln praktisch zwar noch getrennt; aber wie gesagt, die Hoffnung, mal zueinander zu gelangen, ist gestiegen und wird immer größer, je fester die anfangs schwache Decke über dem Sumpf wird. Und wenn sie schließlich wirklich tragen würde — dann hätten wir eine Möglichkeit der direkten Vereinigung, wir haben den Zwischenraum mit Metall ausgefüllt, einen direkten Übergang geschaffen.

Nun gibt es Anordnungen, die ständig neue Elektronen nachliefern, die ständig eine Spannung aufrecht erhalten. Wenn an das Inselbeispiel zurückgedacht werden soll — beim ersten Fall war es nur eine bestimmte Anzahl Menschen, die über die Brücke marschierte. Aber jetzt erscheinen auf der einen Insel immer neue Leute, immer neue Massen, wie aus der Erde gestampft. Die Folge ist, daß ein ständiger, konstanter Strom durch den Draht fließt. Denn nichts anderes ist der elektrische Strom. An einer Seite — der negativen — strömen, wie aus einer nie versiegenden Quelle, immer neue Elektronen hervor, sie fließen durch den Draht zur anderen Elektrode und werden dort neutralisiert. So geht das weiter, bis einmal die Quelle doch erschöpft ist, die Nachlieferung langsam wird und ganz aufhört. Dann stirbt der Strom."

„Kleinigkeiten sind es, immer wieder Kleinigkeiten, hinter denen sich das Neue verbirgt. Wenn Sie so wollen, können wir nur deshalb heute mit der Straßenbahn nach Hause fahren, weil im Jahre 1789 Luigi **Galvani**, der italienische Arzt, das Zucken eines Froschschenkels bemerkt hatte und weil er nicht mit einem Achselzucken darüber hinweggegangen war. Jedesmal, wenn aus einer benachbarten Elektrisiermaschine ein Funken übersprang, zuckte dieser frisch präparierte Schenkel, der auf einer Metallplatte lag, verräterisch. Aber er zuckte auch, als er an einem kupfernen Haken an einem Eisengitter aufgehängt wurde — jedesmal dann, wenn er das Gitter berührte, ganz ohne Elektrisiermaschine. Und dies ist der wesentliche Versuch — Alessandro **Volta** hat es zuerst erkannt; er hat ihn freilich auch noch nicht richtig gedeutet. Galvani hatte an tierische Elektrizität geglaubt; Volta dachte an **Kontakt-Elektrizität**, die bei der Berührung zweier verschiedener Metalle entstand, und die, durch den frischen Froschschenkel fließend, die noch reizungsfähigen Muskeln erregte. Heute wissen wir, daß zwei Metalle und die Flüssigkeit im Froschschenkel notwendig waren und daß die Elektrizität durch einen chemischen Prozeß entsteht.



Wir schließen das Kapitel ‚Reibungselektrizität'. Es steht im Beginn, es war wissenschaftlich interessant und brachte manche Erkenntnis. Aber was hat man in früheren Zeiten mit der Elektrizität anzufangen gewußt? Den Tanz winziger Papierkügelchen, elektrischer Glockenspiele, kleine Fünkchen, die man einander aus der Nase zieht — Kinderspiele, Unterhaltungen in den Salons einer schöngeistigen Gesellschaft.

Mit Voltas Entdeckung beginnt ein neuer Abschnitt in der Geschichte der Elektrizität. Sie ist nun erwachsen — sie wird sich anschicken, wirkliche Arbeit zu verrichten. Die ruhigen, stetig

Die Rolle des Zwischenraums

Es darf nach unseren Anschauungen nicht verwundern, daß die Beschaffenheit des Raums zwischen den Platten eine Rolle spielen wird, denn in ihm sitzt das Feld. Verstärkt man das Feld auf irgendeine Weise — wenn man zum Beispiel Glas oder Glimmer oder Schwefelkohlenstoff statt Luft zwischen die Platten bringt — so steigt die Kapazität, der Kondensator vermag bei derselben Spannung nunmehr eine größere Elektrizitäts-Menge zu binden. Tatsächlich waren es diese Versuche, die Faraday zum erstenmal den Gedanken der Nahewirkung aufdrängten, den Feldgedanken.

Es ist so, als verstärkte man die Sehnsucht und Hoffnung der Inselbewohner dadurch, daß man das trennende Wasser zum Beispiel langsam versumpfen läßt. Dann sind die Inseln praktisch zwar noch getrennt; aber wie gesagt, die Hoffnung, mal zueinander zu gelangen, ist gestiegen und wird immer größer, je fester die anfangs schwache Decke über dem Sumpf wird. Und wenn sie schließlich wirklich tragen würde — dann hätten wir eine Möglichkeit der direkten Vereinigung, wir haben den Zwischenraum mit Metall ausgefüllt, einen direkten Übergang geschaffen.

Nun gibt es Anordnungen, die ständig neue Elektronen nachliefern, die ständig eine Spannung aufrecht erhalten. Wenn an das Inselbeispiel zurückgedacht werden soll — beim ersten Fall war es nur eine bestimmte Anzahl Menschen, die über die Brücke marschierte. Aber jetzt erscheinen auf der einen Insel immer neue Leute, immer neue Massen, wie aus der Erde gestampft. Die Folge ist, daß ein ständiger, konstanter Strom durch den Draht fließt. Denn nichts anderes ist der elektrische Strom. An einer Seite — der negativen — strömen, wie aus einer nie versiegenden Quelle, immer neue Elektronen hervor, sie fließen durch den Draht zur anderen Elektrode und werden dort neutralisiert. So geht das weiter, bis einmal die Quelle doch erschöpft ist, die Nachlieferung langsam wird und ganz aufhört. Dann stirbt der Strom."

„Kleinigkeiten sind es, immer wieder Kleinigkeiten, hinter denen sich das Neue verbirgt. Wenn Sie so wollen, können wir nur deshalb heute mit der Straßenbahn nach Hause fahren, weil im Jahre 1789 Luigi Galvani, der italienische Arzt, das Zucken eines Froschschenkels bemerkt hatte und weil er nicht mit einem Achselzucken darüber hinweggegangen war. Jedesmal, wenn aus einer benachbarten Elektrisiermaschine ein Funken übersprang, zuckte dieser frisch präparierte Schenkel, der auf einer Metallplatte lag, verräterisch. Aber er zuckte auch, als er an einem kupfernen Haken an einem Eisengitter aufgehängt wurde — jedesmal dann, wenn er das Gitter berührte, ganz ohne Elektrisiermaschine. Und dies ist der wesentliche Versuch — Alessandro Volta hat es zuerst erkannt; er hat ihn freilich auch noch nicht richtig gedeutet. Galvani hatte an tierische Elektrizität geglaubt; Volta dachte an Kontakt-Elektrizität, die bei der Berührung zweier verschiedener Metalle entstand, und die, durch den frischen Froschschenkel fließend, die noch reizungsfähigen Muskeln erregte. Heute wissen wir, daß zwei Metalle und die Flüssigkeit im Froschschenkel notwendig waren und daß die Elektrizität durch einen chemischen Prozeß entsteht.



Wir schließen das Kapitel ‚Reibungselektrizität'. Es steht im Beginn, es war wissenschaftlich interessant und brachte manche Erkenntnis. Aber was hat man in früheren Zeiten mit der Elektrizität anzufangen gewußt? Den Tanz winziger Papierkügelchen, elektrischer Glockenspiele, kleine Fünkchen, die man einander aus der Nase zieht — Kinderspiele, Unterhaltungen in den Salons einer schöngeistigen Gesellschaft.

Mit Voltas Entdeckung beginnt ein neuer Abschnitt in der Geschichte der Elektrizität. Sie ist nun erwachsen — sie wird sich anschicken, wirkliche Arbeit zu verrichten. Die ruhigen, stetig

Die Rolle des Zwischenraums

Es darf nach unseren Anschauungen nicht verwundern, daß die Beschaffenheit des Raums zwischen den Platten eine Rolle spielen wird, denn in ihm sitzt das Feld. Verstärkt man das Feld auf irgendeine Weise — wenn man zum Beispiel Glas oder Glimmer oder Schwefelkohlenstoff statt Luft zwischen die Platten bringt — so steigt die Kapazität, der Kondensator vermag bei derselben Spannung nunmehr eine größere Elektrizitäts-Menge zu binden. Tatsächlich waren es diese Versuche, die Faraday zum erstenmal den Gedanken der Nahewirkung aufdrängten, den Feldgedanken.

Es ist so, als verstärkte man die Sehnsucht und Hoffnung der Inselbewohner dadurch, daß man das trennende Wasser zum Beispiel langsam versumpfen läßt. Dann sind die Inseln praktisch zwar noch getrennt; aber wie gesagt, die Hoffnung, mal zueinander zu gelangen, ist gestiegen und wird immer größer, je fester die anfangs schwache Decke über dem Sumpf wird. Und wenn sie schließlich wirklich tragen würde — dann hätten wir eine Möglichkeit der direkten Vereinigung, wir haben den Zwischenraum mit Metall ausgefüllt, einen direkten Übergang geschaffen.

Nun gibt es Anordnungen, die ständig neue Elektronen nachliefern, die ständig eine Spannung aufrecht erhalten. Wenn an das Inselbeispiel zurückgedacht werden soll — beim ersten Fall war es nur eine b e s t i m m t e Anzahl Menschen, die über die Brücke marschierte. Aber jetzt erscheinen auf der einen Insel immer neue Leute, immer neue Massen, wie aus der Erde gestampft. Die Folge ist, daß ein ständiger, konstanter Strom durch den Draht fließt. Denn nichts anderes ist der elektrische Strom. An einer Seite — der negativen — strömen, wie aus einer nie versiegenden Quelle, immer neue Elektronen hervor, sie fließen durch den Draht zur anderen Elektrode und werden dort neutralisiert. So geht das weiter, bis einmal die Quelle doch erschöpft ist, die Nachlieferung langsam wird und ganz aufhört. Dann stirbt der Strom."

Feld, und die Elektronen rutschen seinem Zuge folgend durch den Draht. Es sind die Elektronen, die den Stromtransport besorgen; die positiven Ladungen sind fast unbeweglich. Freilich dürfen wir nicht erwarten, daß jedes Elektron in einem Zuge durch den Draht hindurchfliegt. Der Draht ist ja kein hohles Rohr, er besteht aus Metall-Atomen oder -Ionen, die einigermaßen regelmäßig in einer Kristall-Gitterstruktur angeordnet sind. In diesem Gitterwerk schießen die Elektronen beständig hin und her, in unregelmäßiger, aber schneller Bewegung — rund 100 Kilometer in der Sekunde — auch wenn keine Spannung angelegt ist. Schaltet man die Spannung ein, so erhalten sie alle die Neigung, den negativen Pol zu fliehen und den Feldlinien gemäß zum positiven Pol zu rutschen. Indessen stellen sich ihrer Wanderung Hindernisse entgegen; sie werden durch die Ionen abgelenkt, wohl auch eingefangen; dann tritt ein neues Elektron an ihre Stelle. Und so schiebt sich dieser Strom von Elektronen durch den Draht — wie die Moleküle eines Gases, das man durch eine enge, verstopfte Röhre saugt. Tatsächlich liegt unseren neuen theoretischen Vorstellungen über die metallische Leitfähigkeit diese Idee eines ‚Elektrongases‘ zugrunde. Sommerfeld hat als erster mit gas-theoretischen Hilfsmitteln das Problem erfolgreich angegriffen. Die Vorstellung ist ganz real. Man kann die Elektronen schütteln wie Körner in einer Hülse; man kann sie bei einer schnellen, ruckartigen Bewegung des ganzen Leiters an einem Ende aufstauen — wie durch Versuche nachgewiesen wurde.

Man pflegt ja wohl den Strom mit einem Wasserstrom zu vergleichen, der durch eine Röhre zwischen zwei verschieden hoch gefüllten Gefäßen fließt. Der Begriff Stromstärke ist klar: es ist die in der Sekunde den Draht oder die Röhre passierende Menge an Elektrizität oder an Wasser, je nachdem. Die Spannung, die erst den Strom erzeugt, entspricht dem Höhenunterschied der Wasserbehälter.



fließenden Ströme der galvanischen Elemente sind anspruchslos, aber arbeitswillig, voll verhaltener Kraft. Bescheiden, unauffällig — so gibt sich die Elektrizität im beginnenden 19. Jahrhundert, dem Jahrhundert des Bürgers. Die Voltasche Säule steht am Anfang der Entwicklung, die in der Starkstromtechnik unserer Tage gipfelt. Jeder kennt heute den Akkumulator oder das Klingelelement, die durch chemische Umlagerungen beträchtliche Ströme erzeugen.

Nernst hat eine sehr anschauliche Vorstellung vom Wirken eines Elements gegeben. Taucht man einen Metallstab in die Flüssigkeit, so werden durch den „Lösungsdruck" elektrisch geladene Metall-Jonen aus dem Stab herausgetrieben — sie ‚verdampfen' und schwimmen nun in der Flüssigkeit umher. Diese aber ist durchaus nicht erfreut über den Zuwachs; im Gegenteil, die in der Flüssigkeit gelösten Jonen zeigen ihrerseits einen gewissen Druck — osmotischen Druck nennt man ihn — der das Bestreben hat, die Lösung zu verdünnen, d. h. die Jonen in das Metall zurückzutreiben. Das Gegenspiel beider Kräfte erzeugt eine elektrische Spannung an dem Metallstab — er lädt sich elektrisch auf, und dies um so stärker, je größer die Differenz von Lösungsdruck und osmotischem Druck ist. Hat man zwei verschiedene Metalle in der Flüssigkeit und verbindet sie durch einen Draht, so gleichen sich die Spannungen durch den Draht hindurch aus — es fließt ein Strom.

Auch der Akku arbeitet ähnlich — mit dem Unterschied, daß er, einem Phönix gleich, zu neuem Leben erweckt werden kann, wenn er erschöpft ist. Man schickt dann einen Strom von außen, in umgekehrter Richtung durch den Akku und macht damit die chemischen Umlagerungen wieder rückgängig. Man lädt den Akku auf."

„Dies also ist der elektrische Strom?" „Ja, es ist der gutbürgerliche, ganz normale Haushaltstrom. An den Drahtenden wird ständig eine Spannung aufrecht erhalten; wie, das ist jetzt nicht unsere Sache. Man hat eine Spannung am Leiter, also ein

Feld, und die Elektronen rutschen seinem Zuge folgend durch den Draht. Es sind die Elektronen, die den *Stromtransport besorgen*; die positiven Ladungen sind fast unbeweglich. Freilich dürfen wir nicht erwarten, daß jedes Elektron in einem Zuge durch den Draht hindurchfliegt. Der Draht ist ja kein hohles Rohr, er besteht aus Metall-Atomen oder -Jonen, die einigermaßen regelmäßig in einer Kristall-Gitterstruktur angeordnet sind. In diesem Gitterwerk schießen die Elektronen beständig hin und her, in unregelmäßiger, aber schneller Bewegung — rund 100 Kilometer in der Sekunde — *auch wenn keine Spannung angelegt ist. Schaltet man die Spannung* ein, so erhalten sie alle die Neigung, den negativen Pol zu fliehen und den Feldlinien gemäß zum positiven Pol zu rutschen. Indessen stellen sich ihrer Wanderung Hindernisse entgegen; sie werden durch die Jonen abgelenkt, wohl auch eingefangen; dann tritt ein neues Elektron an ihre Stelle. Und so schiebt sich dieser Strom von Elektronen durch den Draht — wie die Moleküle eines Gases, das man durch eine enge, verstopfte Röhre saugt. Tatsächlich liegt unseren neuen theoretischen Vorstellungen über die metallische Leitfähigkeit diese Idee eines ‚Elektrongases' zugrunde. Sommerfeld hat als erster mit *gas-theoretischen Hilfsmitteln* das Problem erfolgreich angegriffen. Die Vorstellung ist ganz real. Man kann die Elektronen schütteln wie Körner in einer Hülse; man kann sie bei einer schnellen, ruckartigen Bewegung des ganzen Leiters an einem Ende aufstauen — wie durch Versuche nachgewiesen wurde.

Man pflegt ja wohl den Strom mit einem Wasserstrom zu vergleichen, der durch eine Röhre zwischen zwei verschieden hoch gefüllten Gefäßen fließt. Der Begriff Stromstärke ist klar: es ist die in der Sekunde den Draht oder die Röhre passierende Menge an Elektrizität oder an Wasser, *je nachdem*. Die Spannung, die erst den Strom erzeugt, entspricht dem Höhenunterschied der Wasserbehälter.



Ein einmal gefülltes Gefäß gleicht einem Kondensator: wenn genügend Wasser übergeflossen ist und sich die Niveaus ausgeglichen haben, herrscht Ruhe. Ein galvanisches Element aber hat die Fähigkeit, ständig eine Spannung — einen Höhenunterschied der Wasserbehälter aufrecht zu erhalten; es gleicht einer Pumpe; und nun kann dauernd ein Strom fließen.

Die Stromstärke, das sieht man, hängt ab von der Spannung; und sie ist um so kleiner, je größer der Strömungswiderstand des Rohrs ist, je enger und je länger es also ist. Für uns ergibt sich daraus das Ohmsche Gesetz: Stromstärke = Spannung: Widerstand und wirklich ist auch der elektrische Widerstand um so größer, je länger und je dünner der Draht ist. So wie ein Gas sich beim Durchströmen eines verstopften Rohres reibt und Wärme erzeugt, Reibungswärme, so ‚reibt' sich das Elektronengas am Metallgitter und erzeugt Reibungswärme — der Draht erwärmt sich beim Stromdurchgang. Joule, der große Engländer, fand das Gesetz der Wärme-Entwicklung auf; man nennt sie ihm zu Ehren ‚Joulesche Wärme'. Sie hängt offenbar nur ab von der hindurchströmenden Gasmenge, dem Druck, mit dem man sie hindurchpreßt, und der Zeit, während der das geschieht. Also: Wärme = Stromstärke × Spannung × Zeit.

Wir haben gelernt, die Joulesche Wärme zu achten und zu schätzen: schließlich bringt sie unsere Glühlampen zum Brennen, sie kocht und brät und plättet. Die Wärme, die ein Strom von 1 Ampere und 1 Volt in einer Sekunde entwickelt, nennt man 1 Watt; sie ist im wesentlichen gleich der Arbeit, die das Element oder das Elektrizitätswerk zur Erzeugung dieses Stromes leisten müßte. 736 Watt entsprechen einer Pferdestärke; eine helle Glühlampe, die 75 Watt braucht, verschlingt also ständig ein zehntel Pferdestärke; und für das Bügeleisen, das wohl 500 Watt verspeist, muß beinahe ein ganzes Pferd eingespannt werden. Ganz gewaltig also sind die Leistungen, die wir ständig durch unsere Leitungen pressen. Gewaltig — und billig. Wenn ein Strom eine

Stunde lang 1000 Watt leistet, so hat er die Arbeit 1 Kilowattstunde vollbracht; etwas mehr als ein Pferd, als ein 'theoretisches Pferd' sogar; in der Praxis leisten die Pferde nicht so viel. Der Strom bekommt dafür 16 Pfennig, soviel kostet die Kilowattstunde heute. Damit haben wir das zweite Kapitel der Elektrizitätslehre abgeschlossen." — „Und wie war das mit dem Gewitter?"



„Ja richtig, das Gewitter. Fast hätte ich es vergessen. Die Physiker haben sich lange herumgestritten, woher die Gewitterelektrizität stammt. Lenard hat einen Weg gezeigt: Die dicken, schweren Regentropfen, die aus der hochaufgetürmten Gewitterwolke fallen, werden von harten, wechselnden Böen zerblasen, zerstäubt. Dabei trennen sich die Ladungen der Wassertropfen. Die negativen bleiben auf den feinsten Stäubchen und werden vom aufschießenden Luftstrom mit in die Höhe genommen. Die schweren, positiven Resttropfen bleiben zurück. So ziehen sich die Ladungen auseinander, so entsteht, in uns wohlbekannter Weise, die 'Sehnsucht', das elektrische Feld, das Spannungen von enormer Größe,

von Millionen Volt erreicht, weil die Ladungen sehr weit voneinander fortgeführt werden. Einen Augenblick wartet die aufgestaute Elektrizitätsmenge auf Entladung — wenn jetzt jemand eine Drahtleitung zwischen den Wolkenteilen oder Wolke—Erde legen würde, so würde ein normaler Strom fließen.

Für gewöhnlich ist niemand da, der einen Draht legt — und nun sucht sich die Elektrizität selbst ihren Weg. Die Ladungen stoßen, dem übermächtigen Zug der Kraftlinien folgend, vor, ionisieren die Luft (machen sie leitfähig), zertrümmern die Verbindungen in den Molekülen — stoßweise, lawinenartig verwachsend brechen sie sich ihre verästelte Bahn und bringen die Luft zum hellen Leuchten. Das ist der Blitz; kilometerlang, aber ganz schmal ist der Entladungskanal, und der größte Teil der Elektrizität fließt in einer wenige Zentimeter starken Seele. Stromstärken von 1000 Ampere — aber nur eine tausendstel Sekunde — dann ist der Spuk vorüber. Und Sie sehen — 1000 Ampere während eintausendstel Sekunde; oder ein Ampere während einer ganzen Sekunde, das kommt mengenmäßig auf dasselbe heraus.

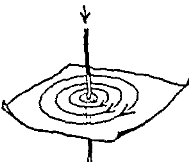
Wirklich, die Elektrizitätsmenge, der ‚Umsatz' während des Gewitters ist gering. Die Spannungen freilich und die Stromstärken sind ungeheuerlich, und so resultiert doch eine ganz gewaltige Energie; nur — und damit muß ich den Vorwurf, der mir zu Beginn unserer Unterhaltung gemacht wurde, leider anerkennen — wir können sie nicht benutzen. Für wissenschaftliche Zwecke ist der Blitz einmal in einem Großexperiment eingefangen worden; aber er erwies sich auch dort als zu launisch. Heute machen wir uns unsere Gewitter selber. Donner? Sie wissen ja, was der Donner ist — die vom Strom zur Seite geschleuderte Luft brandet nachher wieder zusammen und versetzt das ganze Luftmeer ringsumher in stürmische Schallschwingungen. Eine Lebensregel aber können Sie aus dieser Erklärung noch gewinnen: Wesentlich für das Gewitter sind die Wolken und der Regen in ihnen — daher: Kein Blitz aus heiterem Himmel!"

„Hm. Das also ist das Gewitter — weit ausgezogene elektrische Kraftlinien. Sonst noch etwas?"

„Nein — das Kapitel ist damit abgeschlossen. Aber ich möchte gern noch etwas weiter schwatzen; wer weiß, wann ich wieder soviel über Physik reden darf!"

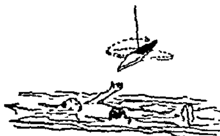
Elektrizität und Magnetismus

„Hans Christian Oersted war es vorbehalten, die magnetischen Wirkungen des Stroms zu entdecken (1820). Er hatte eine drehbare Magnetnadel in der Nähe eines Platindrahts aufgehängt, den er durch starke Ströme zum Glühen erhitzte. Beim Einschalten des



Stroms bemerkte er ein Zucken — die Nadel drehte sich, von einer unsichtbaren Kraft getrieben, zur Seite. Nach dem Ausschalten kehrte sie in ihre Ruhelage zurück. Erst hielt er die Wärme für wesentlich; aber der Versuch gelingt auch mit Schwachstrom.

Wir sind ja gebildet. Eine Magnetnadel dreht sich — aha, wissen wir, dort muß ein magnetisches Feld sein. Der Strom baut ein Magnetfeld um sich auf. Wenn wir die Form der Kraftlinien näher untersuchen, so finden wir: Es sind lauter konzentrische Kreise, die sich um den Draht legen. Dies Feld aber, das ist das Wichtige, lebt nur so lange, wie der Strom fließt. Es bricht zusammen und verschwindet spurlos aus der Welt, sobald man den Strom abschaltet.



von Millionen Volt erreicht, weil die Ladungen sehr weit voneinander fortgeführt werden. Einen Augenblick wartet die aufgestaute Elektrizitätsmenge auf Entladung — wenn jetzt jemand eine Drahtleitung zwischen den Wolkenteilen oder Wolke—Erde legen würde, so würde ein normaler Strom fließen.

Für gewöhnlich ist niemand da, der einen Draht legt — und nun sucht sich die Elektrizität selbst ihren Weg. Die Ladungen stoßen, dem übermächtigen Zug der Kraftlinien folgend, vor, ionisieren die Luft (machen sie leitfähig), zertrümmern die Verbindungen in den Molekülen — stoßweise, lawinenartig verwachsend brechen sie sich ihre verästelte Bahn und bringen die Luft zum hellen Leuchten. Das ist der Blitz; kilometerlang, aber ganz schmal ist der Entladungskanal, und der größte Teil der Elektrizität fließt in einer wenige Zentimeter starken Seele. Stromstärken von 1000 Ampere — aber nur eine tausendstel Sekunde — dann ist der Spuk vorüber. Und Sie sehen — 1000 Ampere während einer tausendstel Sekunde; oder ein Ampere während einer ganzen Sekunde, das kommt mengenmäßig auf dasselbe heraus.

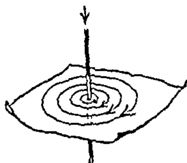
Wirklich, die Elektrizitätsmenge, der ‚Umsatz' während des Gewitters ist gering. Die Spannungen freilich und die Stromstärken sind ungeheuerlich, und so resultiert doch eine ganz gewaltige Energie; nur — und damit muß ich den Vorwurf, der mir zu Beginn unserer Unterhaltung gemacht wurde, leider anerkennen — wir können sie nicht benutzen. Für wissenschaftliche Zwecke ist der Blitz einmal in einem Großexperiment eingefangen worden; aber er erwies sich auch dort als zu launisch. Heute machen wir uns unsere Gewitter selber. Donner? Sie wissen ja, was der Donner ist — die vom Strom zur Seite geschleuderte Luft brandet nachher wieder zusammen und versetzt das ganze Luftmeer ringsumher in stürmische Schallschwingungen. Eine Lebensregel aber können Sie aus dieser Erklärung noch gewinnen. Wesentlich für das Gewitter sind die Wolken und der Regen in ihnen — daher: Kein Blitz aus heiterem Himmel!"

„Hm. Das also ist das Gewitter — weit ausgezogene elektrische Kraftlinien. Sonst noch etwas?"

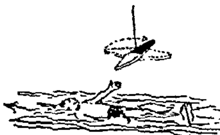
„Nein — das Kapitel ist damit abgeschlossen. Aber ich möchte gern noch etwas weiter schwatzen; wer weiß, wann ich wieder soviel über Physik reden darf!"

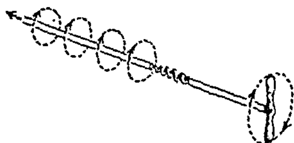
Elektrizität und Magnetismus

„Hans Christian Oerstedt war es vorbehalten, die magnetischen Wirkungen des Stroms zu entdecken (1820). Er hatte eine drehbare Magnetnadel in der Nähe eines Platindrahts aufgehängt, den er durch starke Ströme zum Glühen erhitzte. Beim Einschalten des Stroms bemerkte er ein Zucken — die Nadel drehte sich, von einer unsichtbaren Kraft getrieben, zur Seite. Nach dem Ausschalten kehrte sie in ihre Ruhelage zurück. Erst hielt er die Wärme für wesentlich; aber der Versuch gelingt auch mit Schwachstrom.



Wir sind ja gebildet. Eine Magnetnadel dreht sich — aha, wissen wir, dort muß ein magnetisches Feld sein. Der Strom baut ein Magnetfeld um sich auf. Wenn wir die Form der Kraftlinien näher untersuchen, so finden wir: Es sind lauter konzentrische Kreise, die sich um den Draht legen. Dies Feld aber, das ist das Wichtige, lebt nur so lange, wie der Strom fließt. Es bricht zusammen und verschwindet spurlos aus der Welt, sobald man den Strom abschaltet.



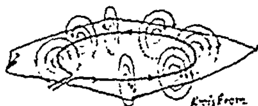


Es gibt verschiedene Regeln, nach denen man sich die Richtung der Kraftlinien merken kann. Die erste war Ampères Schwimmerregel. Wenn ein kleiner Mensch mit dem elektrischen Strom schwimmt und sein Gesicht der Magnetnadel zuwendet, so dreht sich der Nordpol in Richtung des ausgestreckten linken Arms; dies also ist die Richtung der Kraftlinien.

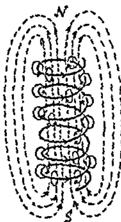
Die zweite kommt auf das gleiche hinaus — die rechte Handregel: Tritt der Strom an der rechten Handwurzel ein und an den Fingerspitzen aus, und man wendet die innere Handfläche der Nadel zu, so weist sie in Richtung des abgespreizten Daumens.

Am besten aber ist immer Maxwells Korkzieher-Regel. Schraubt man einen Korkzieher in der Stromrichtung in den Draht, so gibt seine Drehrichtung die Richtung der Magnetkraftlinie.

Es ist nicht schwer, den geraden Draht zu einer Schlinge zusammenzubiegen, zu einem Kreisstrom. Dann quellen die magnetischen Kraftlinien aus der Stromebene heraus, gehen im Bogen herum und münden von der anderen Seite wieder ein. Auch hierfür — das ist ihr großer Vorzug — gilt Maxwells Regel: Schraubt man den Korkzieher in der Richtung der magnetischen Kraftlinien, so gibt sein Drehsinn die Umlaufrichtung des Kreisstroms an. Die Korkzieher-Regel möchte ich Ihnen besonders ans Herz legen. Sie ist nicht nur sehr bequem zu gebrauchen und zu merken — sie hat auch, freilich sehr geschickt verborgen, eine tiefere Beziehung zu den mathematischen Gesetzen, die dem Vorgang zugrunde liegen. Wollen wir das Feld einer Spule, eines ‚Solenoids' bestimmen, so



müssen wir die Wirkungen mehrerer Stromkreise addieren. Das Feld der Spule sieht genau so aus wie das eines Magnetstabes; ein einzelner Kreisstrom wirkt wie eine dünne magnetische Stahlplatte — ein magnetisches Blatt.



Oerstedt hat damals die Tragweite seiner Entdeckung sofort erkannt. Er hatte auf einen Schlag eine Querverbindung, eine Brücke zwischen zwei Teilgebieten der Physik geschaffen. Bis zu seiner Beobachtung waren Elektrizität und Magnetismus als zwei völlig Fremde nebeneinander hergelaufen. Gewiß, eine Menge ihrer Erscheinungen war sehr ähnlich, aber solcher Analogien kannte die Wissenschaft viele. Nun aber hatte sich gezeigt, daß ein Strom auf einen Magneten einwirken konnte — daß Elektrizität und Magnetismus verwandt waren, wesensgleich.

Was lag zugrunde? Was war das Primäre? War die Elektrizität eine Art Magnetismus? Oder war umgekehrt der Magnetismus nur eine Erscheinungsform der Elektrizität? Die Entscheidung erfolgte rasch — Ampère wies nach, daß die zweite Möglichkeit dem Wesen der Sache gerecht wurde. Ein einzelner Kreisstrom wirkt wie ein magnetisches Blatt; Ampère machte aus dem ‚wie' ein gleich, ein ‚als'. Er stellte den Satz auf: Es gibt gar keine Magnete — es gibt nur Kreisströme. In jedem der bekannten permanenten Magneten, wie Stahlstäbe usw., fließen dauernd kleine Kreisströme von molekularer Dimension. Aber nur bei Magneten fließen sie in der gleichen Ebene und verstärken sich so. Bei anderen, unmagnetischen Körpern fließen diese Ströme





wild und regellos durcheinander — nach außen kommt keine Wirkung zustande. Man versteht auch, was bei der Magnetisierung eines Eisenstabes vor sich geht: sie bedeutet eine Ausrichtung der zügellosen Molekularströme, ein Einschwenken ihrer Ebenen und damit die Möglichkeit einer Wirkung nach außen. Bei weichem Eisen ist diese Ordnung nur künstlich erzwungen — sobald das äußere Feld verschwindet, verschwindet auch die Disziplin, und das alte planlose Durcheinander beginnt wieder. Weiches Eisen ist nicht dauernd zu magnetisieren. Dem Stahl liegt die Ordnung mehr im Blut — ist sie einmal hergestellt, so sehen dessen Molekularströme keinen Anlaß, ihre regelmäßige Lage zu verändern. Sie bleiben, wie sie sind, und der Stahlstab bleibt damit magnetisch.

Unserer Zeit mit ihrer verfeinerten Experimentierkunst blieb es vorbehalten, die Ampèreschen Kreisströme direkt nachzuweisen. Die kreisenden Elektronen wiegen nicht eben viel, aber sie wiegen doch ein wenig, und so entspricht jeder Kreisstrom einem kleinen Kreisel. Versetzt man einen Eisenstab in sehr rasche Drehung, so zeigen diese molekularen Kreiselchen die Tendenz, alle in die gleiche Richtung einzuschwenken, sich mit ihrer Achse parallel zu der Drehungsachse einzustellen. Die Folge dieser — mit rein mechanischen Mitteln erzwungenen! — Ordnung ist eine Magnetisierung! S. J. Barnett in Amerika hat zuerst (1915) diese ‚Magnetisierung auf kaltem Wege' nachgewiesen. Im selben Jahre fanden Einstein und de Haas den umgekehrten Effekt: Wenn ein Eisenstab plötzlich magnetisiert wird, so haben die einschwenkenden Molekular-Kreisel die Tendenz, den ganzen Stab etwas zu drehen — eine Drehung, die man beobachten kann!

Noch ein weiteres Rätsel klärt die Ampèresche Auffassung — und das ist das Entscheidende. Sie erklärt uns, warum wir niemals Nord- und Südmagnetismus getrennt beobachten. Wir werden das gleich noch besser verstehen.

Darf ich Ihnen ein kleines physikalisches Rätsel aufgeben, ‚für stille Stunden', wie man sagt? Vor Ihnen auf dem Tisch liegen

zwei äußerlich ganz gleiche Stäbe. Der eine ist magnetisch, der andere aus weichem Eisen. Wie kann man erkennen, welches der Magnet ist?" „Ganz einfach — der Magnet zieht den anderen an!" „O nein, die Anziehung ist ja wechselseitig. Wenn ich den Eisenstab in die Hand nehme und die Spitze des Magneten mit ihm berühre, so kann ich den Magneten daran in die Höhe ziehen, er beißt sich gewissermaßen fest, wie ein junger Hund, der sich in ein Stück Holz spielerisch so fest verbeißt, daß man ihn daran in die Höhe heben kann." „Aha — ich weiß es! Man muß mit dem einen Stab den zweiten in der Mitte berühren. Dann hebt der Magnet das Eisen hoch — aber nicht umgekehrt, denn in der Mitte ist jeder Magnetstab unmagnetisch, magnetisch tot!"

„Richtig. Und jetzt kommt das Sonderbare.

Die primitivsten Lebewesen, die Einzeller, Amöben usw., pflanzen sich durch Zellteilung fort. Sie fallen in der Mitte zusammen, bekommen dort eine überschlanke Wespentaille, schnüren sich ganz ab — und wandern auseinander, als zwei wohlausgebildete, lebensfähige Amöben. Schneidet man den Magnetstab in der Mitte durch, so erhält man nach der Trennung zwei kleine Magneten — beide vollständig, mit Nord- und Südpol, wie es sich gehört. Man kann diese Unterteilung machen, so oft man will, sie kommt nie zu einem Ende.

Das ist relativ schade — ein solch isolierter magnetischer Nordpol hätte seine Vorteile für die Verbindung mit der Arktis. Man brauchte ihn nur vor einen Luftballon zu binden — und schon würde er, dem Zuge des Erdmagnetismus folgend, sich langsam, aber stetig, wenn auch von Winden hin und her getrieben, auf die Reise nach Norden machen und schließlich in Nordkanada am magnetischen Südpol der Erde sanft, aber entschieden liegenbleiben. Eine ideale Post zu den Eskimos, und die Eskimos ihrerseits würden zur Rückbeförderung einen Südpol als Motor einsetzen. Nun, das gibt es nicht — Ampère zeigt uns ja eben, jedes Ding hat zwei Seiten, jedes magnetische Blatt auch, und jeder Kreisstrom. Wir bauen

wild und regellos durcheinander — nach außen kommt keine Wirkung zustande. Man versteht auch, was bei der Magnetisierung eines Eisenstabes vor sich geht: sie bedeutet eine Ausrichtung der zügellosen Molekularströme, ein Einschwenken ihrer Ebenen und damit die Möglichkeit einer Wirkung nach außen. Bei weichem Eisen ist diese Ordnung nur künstlich erzwungen — sobald das äußere Feld verschwindet, verschwindet auch die Disziplin, und das alte planlose Durcheinander beginnt wieder. Weiches Eisen ist nicht dauernd zu magnetisieren. Dem Stahl liegt die Ordnung mehr im Blut — ist sie einmal hergestellt, so sehen dessen Molekularströme keinen Anlaß, ihre regelmäßige Lage zu verändern. Sie bleiben, wie sie sind, und der Stahlstab bleibt damit magnetisch.

Unserer Zeit mit ihrer verfeinerten Experimentierkunst blieb es vorbehalten, die Ampèreschen Kreisströme direkt nachzuweisen. Die kreisenden Elektronen wiegen nicht eben viel, aber sie wiegen doch ein wenig, und so entspricht jeder Kreisstrom einem kleinen Kreisel. Versetzt man einen Eisenstab in sehr rasche Drehung, so zeigen diese molekularen Kreiselchen die Tendenz, alle in die gleiche Richtung einzuschwenken, sich mit ihrer Achse parallel zu der Drehungsachse einzustellen. Die Folge dieser — mit rein mechanischen Mitteln erzwungenen! — Ordnung ist eine Magnetisierung! S. J. Barnett in Amerika hat zuerst (1915) diese ‚Magnetisierung auf kaltem Wege' nachgewiesen. Im selben Jahre fanden Einstein und de Haas den umgekehrten Effekt: Wenn ein Eisenstab plötzlich magnetisiert wird, so haben die einschwenkenden Molekular-Kreisel die Tendenz, den ganzen Stab etwas zu drehen — eine Drehung, die man beobachten kann!

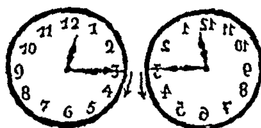
Noch ein weiteres Rätsel klärt die Ampèresche Auffassung — und das ist das Entscheidende. Sie erklärt uns, warum wir niemals Nord- und Südmagnetismus getrennt beobachten. Wir werden das gleich noch besser verstehen.

Darf ich Ihnen ein kleines physikalisches Rätsel aufgeben, ‚für stille Stunden', wie man sagt? Vor Ihnen auf dem Tisch liegen

„Es bliebe noch die zweite Querverbindung herzustellen. Ein Strom erzeugt Magnetismus, das wissen wir. Kann ein Magnetfeld auch Strom erzeugen? Ein Mann wie Faraday hat Jahre und Jahrzehnte danach gesucht; und seine felsenfeste Überzeugung, daß auch diese zweite Möglichkeit in der Natur existieren müsse, gab ihm die Kraft zum Durchhalten. Die ganzen Jahre soll er einen kleinen Magneten und ein Stück Kupferdraht bei sich getragen haben, die ihn immer wieder an diese Frage erinnern sollten. Ein schönes Beispiel dafür, daß physikalische Versuche nicht ins Blaue hinein angestellt werden — daß auch der Experimentator seinen Plan hat, auf eine Theorie gegründet oder auf noch unklare, intuitiv gewonnene Überzeugung. Der Versuch, der Faraday schließlich zum Ziel brachte, ist fast erschreckend einfach. Wir bringen die Drahtschleife in ein Magnetfeld und verbinden sie mit einem Galvanometer. Sie möge zunächst parallel zu den Feldlinien gestanden haben — und wir drehen sie jetzt mit einem plötzlichen Ruck um 90° herum, so daß die Kraftlinien durch ihre Ebene hindurchgehen. Dabei gibt das Galvanometer einen plötzlichen Ausschlag und geht gleich wieder auf Null zurück. Durch das einfache Drehen ist ein kurzer Stromstoß im Draht entstanden. Allgemein ausgedrückt: in einem elektrischen Leiter, der im Magnetfeld so bewegt wird, daß er die Kraftlinien schneidet, wird ein Strom ‚induziert'. Das Magnetfeld vermag Elektrizität zu erzeugen. Und wieder ist die Analogie vollkommen — so wie nur eine *bewegte* Ladung ein Magnetfeld herstellt, so tritt nur in *bewegten* Leitern dieser Induktionsstrom auf."

„Ein schöner Versuch! Wissenschaftlich interessant, einfach, harmlos — nicht mehr?" „So harmlos sieht dieser Versuch aus, so unbedeutend. Aber immer, ob wir in der Straßenbahn fahren, ob wir das Licht anknipsen, ob in einer Fabrik surrende Elektromotoren Tausende von Pferdestärken leisten, oder ob die Zünd-

einmal eine Uhr mit durchsichtigem Zifferblatt. Dann ist sie zwar von vorn gesehen ganz normal, der Zeiger kreist von oben nach rechts, unten, links zurück nach oben. Von hinten betrachtet aber läuft der Zeiger ‚falsch' herum. Wenn statt der Zeiger ein Strom kreisen würde, so hätten wir solch ein magnetisches Blatt und würden auf die ‚normale' Seite S, auf die andere N schreiben. Der Umlaufsinn hängt vom Standpunkt ab — und jeder Kreisstrom hat also immer beide Arten von Magnetismus. So kommt es, daß wir niemals einen isolierten Nordpol sehen werden und die Eskimos weiter unversorgt bleiben.

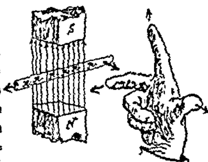


Ampère hatte den Magnetismus zwar getötet. Trotzdem starb er nicht. Man hat sich angewöhnt, den Namen weiter beizubehalten. Es bleibt eine Tatsache, daß ein stromdurchflossener Leiter, zum Beispiel eine Spule, ein Feld um sich herum aufbaut, das genau dem Feld eines Stabmagneten gleicht — ein magnetisches Feld also. Schalten wir den Strom ab, betrachten wir also einen geladenen Draht, in dem Elektrizität ist, aber nicht *fließt*, so verschwindet dies Feld, es bricht zusammen. Übrig bleibt das normale elektrostatische Feld — das aber gänzlich anders aussieht. Seine Linien verlaufen senkrecht zu den magnetischen, und sie wirken in keiner Weise auf einen Magneten ein.

Niemals wird es der Oerstedtschen Magnetnadel einfallen, sich zu drehen, wenn sie in ein elektrostatisches Feld gerät. Niemals wird eine ruhende elektrische Ladung ein magnetisches Feld sich aufbauen können. Es gibt zwei grundsätzlich verschiedene Arten von Feldern: elektrostatische, kurz elektrische genannt, wie sie sich um jede elektrische Ladung bauen, und die zweite Art: *magnetische* Felder — wir bleiben bei der Bezeichnung! —, die an das Vorhandensein bewegter Ladungen geknüpft sind."

Im Eis der Antarktis liegt die Stelle, wo die magnetischen Kraftlinien senkrecht aus der Erde herauskommen, der Nordpol des großen Magneten ‚Erde', den die Geographen wegen seiner südlichen Lage fälschlich magnetischen Südpol nennen. Sir James Roß hat ihn zuerst gesucht. Hätte sich Sir James statt auf einen Hundeschlitten auf ein Elektron gesetzt, dann hätte er zwar ein ungleich schnelleres Gefährt besessen — aber er hätte den magnetischen Pol niemals entdeckt. Das Elektron wäre, von Norden kommend, unaufhaltsam nach rechts, nach Westen ausgewichen. Bewegt sich ein negatives Elektron im Magnetfeld senkrecht zu den Feldlinien, so wird es von einer Kraft zur Seite geschoben, die senkrecht zu seiner Bewegungsrichtung und senkrecht zu den magnetischen Feldlinien ist. Die drei Richtungen: Elektron-Richtung, Magnetfeld und ablenkende Kraft stehen alle drei rechtwinklig aufeinander wie die drei Kanten eines Würfels oder wie Daumen, Zeigefinger und Mittelfinger der rechten Hand.

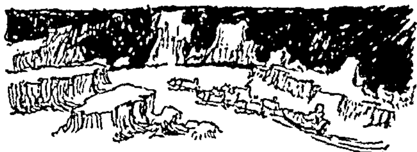
Und nun denken Sie sich die Elektronen in einem Rohr eingeschlossen — als Elektronengas in einem Stück Kupferdraht. Halte ich den Draht waagerecht und schiebe ihn so quer durch das vertikale Magnetfeld, so wirkt auf die ganzen Elektronen diese Ablenkungskraft — sie beginnen nach links durch den Draht zu wandern, es fließt ein Strom im Draht, der Induktionsstrom! Halte ich



aber den Draht auch vertikal, parallel zu den Kraftlinien, so suchen sich die Elektronen quer zu dem Draht zu bewegen, sie stauen sich auf einer Seite; ein Längsstrom kann nicht zustandekommen. Sie haben bei Ihrem Beispiel vergessen, daß auch im Inneren des handfesten Kupferdrahts ein ‚Geist' steckt.

funken im Auto den Benzinmotor zum Laufen bringen, immer benutzen wir die Faradayschen Induktionsströme. Sie beherrschen heute die Welt."

„Es klingt ziemlich sonderbar — nicht wahr? Daß ein Strom ein Magnetfeld um sich herum erzeugt, will ich noch glauben; Elektrizität und Magnetismus sind verwandt, so sagten Sie doch?



Jedenfalls sind für mein Gefühl beide gleich unheimlich, sozusagen wesenlos; es sind zwei Geister, die geheime, esoterische Zwiesprache halten. Mögen sie — ich will mich da nicht einmischen. Aber daß in einem handfesten Stück Kupferdraht, einfach wenn ich es nur mit meinen eigenen Händen an einem Magneten vorbeiführe — alles kerngesunde, materielle Angelegenheiten, die mit beiden Beinen auf der Erde stehen! — plötzlich ein solches unheimliches Wesen wie die Elektrizität auftauchen soll, diese Vermischung von Greifbarem und Wesenlosem, das, entschuldigen Sie, geht mir gegen den Strich. Vormittags um 11 Uhr darf sich keine Spukerscheinung in meinem Büro anmelden wollen!"

„Nun, dazu ist einiges zu sagen. Ich will gar nicht untersuchen, was denn in Wahrheit ‚wesenhafter' ist — die von Ihnen mißachtete Elektrizität oder der ‚handfeste' Kupferdraht. Wir werden einfach die Grammatik der Geistersprache lernen, ihre Gesetze; seit den Hittorfschen Versuchen kann man ja jederzeit die reine Elektrizität beschwören: Die Elektronen, Sie erinnern sich. Nun, wenn man ein Elektron in ein magnetisches Feld hineinschießt, so wird es zur Seite abgelenkt.

Und wie es so geht, die Kinder kehren sich gegen die Eltern. Der Induktionsstrom ist stets so gerichtet, daß er die Änderung des Magnetfeldes aufzuhalten versucht — er sucht seine eigene Existenzursache zu untergraben, er ist selbstmörderisch veranlagt. Beim Einschalten wirkt also der Induktionsstrom — oder Extrastrom, wie er auch genannt wird — dem Hauptstrom entgegen und bewirkt ein *langsameres* Ansteigen, eine Verzögerung. Für dicht gewickelte Spulen, Elektromagnete zum Beispiel, *kann diese* Wirkung so groß werden, daß es Sekunden und Minuten dauert, bis der Hauptstrom seine volle Stärke erreicht. Schaltet man den Hauptstrom aus, so sucht der induzierte Extrastrom das Magnetfeld aufrecht zu erhalten — er fließt in Richtung des Hauptstroms, verstärkt ihn. Die induzierte ‚Öffnungsspannung' überlagert sich der Betriebsspannung, und kann zu gewaltigen Spannungsstößen führen, die mitunter sogar das Netz gefährden. Aber auch jeder, der einen Schalter umdreht, bemerkt einen ‚Öffnungsfunken', der seine Spannung eben aus der induzierten Extraspannung bezieht.

Die Rückwirkung eines Leiters auf sich selbst hängt stark von der geometrischen Form ab. Bei langen, engen Spulen zum Beispiel wird die gesamte Änderung des Kraftflusses vom Leiter erfaßt, sie haben eine hohe ‚Selbstinduktion'. Dieser Draht hingegen zeigt gar keine Rückwirkungen — denn die Magnetfelder des Hin- und des Rückweges kompensieren sich, sind zusammen Null und bleiben es beim Ein- und Ausschalten. Widerstände, die induktionsfrei sein sollen, werden deshalb so ‚bifilar' gewickelt.

Das sind die Grundtatsachen der Elektrizitätslehre: Eine Ladung erzeugt ein elektrostatisches Feld. Elektrischer Strom, ein Fließen von Ladung, dadurch ermöglicht, daß durch chemische Prozesse ein Spannungsunterschied dauernd erhalten bleibt, neue Ladungen ständig nachgeliefert werden. Ein elektrischer Strom umgibt sich, solange er fließt, mit einem magnetischen Feld. Jedes magnetische Feld erzeugt im bewegten Leiter einen Strom. Wichtig

Hierauf beruht die Dynamomaschine:

Man sollte sich diese Induktionsströme noch etwas näher ansehen. Es hat sich gezeigt, daß in einem Leiter ein Strom entsteht — induziert wird — wenn er in einem Magnetfeld bewegt wird, wenn er Kraftlinien schneidet. Man kann ebensogut den Leiter in Ruhe lassen und etwa einen Magnetstab mit seinem Feld daran vorbei bewegen. Auch dann schneidet der Leiter ja die Kraftlinien, und es wird ein Strom induziert. Oder man kann das Magnetfeld elektrisch erzeugen, also etwa zwei Drähte parallel führen und durch den ersten einen Strom schicken. Dann baut sich um diesen ein Magnetfeld auf, und wenn man den zweiten Leiter durch dies Feld bewegt, *wird in ihm ein Strom induziert.* Oder man verändert das Feld zeitlich statt räumlich. Man baut es also langsam auf, indem man den Strom im Draht I langsam verstärkt. Dann entstehen immer neue, immer mehr Kraftlinien, die eben noch nicht da waren — und auch hierbei wird der zweite Draht von Kraftlinien geschnitten, es entsteht ein Kraftfluß durch den Leiter. Auch beim Einschalten des Stroms in I also wird in II ein Strom induziert. Je rascher der Einschaltvorgang verläuft, um so kürzer ist die Zeit, in der diese Kraftlinien-Änderung zusammengedrängt wird, um so größer ist die induzierte Spannung. **Die induzierte Spannung hängt von der Änderungsgeschwindigkeit ab.**

Man sieht — es ist ein weiterer Schritt vorwärts. Ruhende Ladung — elektrostatisches Feld. Bewegte Ladung (Strom) — elektromagnetisches Feld. Strombewegung, Stromveränderung — Änderung des Feldes und Induzierung einer Spannung. Jede Änderung bringt etwas Neues.

Diese Gesetze sind in Strenge richtig. Wir folgern daraus, daß ein Strom auch auf sich selbst einwirken muß — denn wenn er sein Magnetfeld um sich aufgebaut hat, so ist er einfach ein Leiter im Magnetfeld. Woher das Magnetfeld stammt, ist gleichgültig. Wenn es geändert wird, wie zum Beispiel beim Einschalten, so induziert es im Leiter einen Induktionsstrom — und nimmt keine Rücksicht darauf, daß es diesem Leiter ja erst seine Existenz verdankt.

enthält die Energie gar nicht. Der Strom ist wohl vorhanden, er ist sogar ein notwendiges Übel. Die Energie der Dynamos aber, die eine ganze Stadt erleuchten würde — die Energie fließt nicht durch den Draht." „Wieso?" fragte mein Begleiter. „Sie kann doch nicht durch die Luft nach Berlin kommen?" „Doch! Genau so: Durch die Luft kommt die Energie nach Berlin. Der Strom baut sein Feld um sich auf, sein elektromagnetisches Feld. Dies Feld, nur dies Feld enthält die ganze Energie. Ein Energiestrom eilt mit Lichtgeschwindigkeit am Draht entlang nach der Großstadt. Am Draht entlang, nicht im Draht. Das Feld, in der freien Luft, enthält die ganze Energie des Elektrizitätswerkes. Man merkt es ja, wenn man den Strom plötzlich abschaltet, wie die plötzlich frei werdende Energie des zusammenbrechenden Feldes sich in den meterlangen Funken der Öffnungsspannung ihren Weg sucht. Der Strom ist nur ein Übel, ein notwendiges bis jetzt, aber im Grunde unerwünscht. Man braucht ihn, um die Energie zusammenzuhalten, um sie längs des Drahts ihren Weg zu leiten. Sonst würde sie sich in alle Winde zerstreuen. Auch im Zimmer, wenn ich die Lampe anknipse, läuft dieser unsichtbare, unheimliche Energiefluß neben der Zuleitungsschnur, durch die Luft und an der Wand zur Lampe. Man muß, wenn man schon an die Feldtheorie von Maxwell und Faraday glaubt, auch konsequent sein. Die Energie steckt im Feld. Vielleicht gelingt es einmal, den Draht ganz fortzulassen. Ansätze sind vorhanden." Und ich zeigte über die breite, schimmernde Fläche der Havel, wo sich am anderen Ufer, in der beginnenden Dämmerung verschwindend, die dünnen, zerbrechlichen Funktürme erhoben. „Dort — 150 KW strahlt die Antenne aus, wahllos, nach allen Richtungen zerstreut sie ihre Energie, überallhin. Deshalb fängst du mit deinem Radio-Apparat *nur* Bruchteile eines Millionstel Watt davon auf und mußt diesen geringen Rest erst künstlich verstärken. Aber man baut neuerdings Richtstrahler, Antennen, die ihre Energie nur in *einer* ganz bestimmten Richtung aussenden. Die neuen Richtstrahler nach

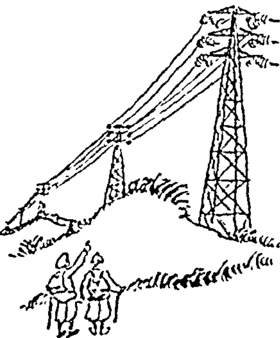
für die letzten beiden Tatsachen ist also die Bewegung, die Veränderung. Und auf diesen simplen Tatsachen, die freilich bis heute ungeklärte Wunder sind und es wohl bleiben werden, baut sich die gesamte Elektrotechnik unserer Tage auf."

Und so endete dies Gespräch, das von einer defekten Lichtleitung und einem Gewitter seinen Ausgang genommen hatte.

Energie durch die Luft

Wir wanderten über die Heide. In weiter, schwingender Linie, von fern schon den Blick auf sich ziehend, griffen die sanften Bögen der Hochspannung über das Land. Dünn und doch fest und sicher das Gitterwerk der Masten. Die gezackte Kette der Porzellan-Isolatoren, wie ein wunderliches Spielzeug. Und die sechs starken Kupferkabel über unseren Köpfen. Leise summte der Wind in der Leitung.

„Seltsamer Gedanke", meinte mein Freund. „In diesen zweifingerdicken Kupferleitungen jagen 27200 Pferdekräfte nach Berlin. 220000 Volt Spannung. 100 Ampere. Und nichts, gar nichts von diesem gewaltigen Energiestrom siehst du den Drähten an."



„Richtig", sagte ich. „Aber noch seltsamer ist dies: die Kabel sind hohl. Nur an der Außenseite fließt der Elektronenstrom, so wie ein hohler Röhrenknochen genau so gut trägt wie ein Vollstab. Und noch seltsamer: dieser ganze Starkstrom ist nicht das eigentliche. Das Kabel

enthält die Energie gar nicht. Der Strom ist wohl vorhanden, er ist sogar ein notwendiges Übel. Die Energie der Dynamos aber, die eine ganze Stadt erleuchten würde — die Energie fließt nicht durch den Draht." „Wieso?" fragte mein Begleiter. „Sie kann doch nicht durch die Luft nach Berlin kommen?" „Doch! Genau so: Durch die Luft kommt die Energie nach Berlin. Der Strom baut sein Feld um sich auf, sein elektromagnetisches Feld. Dies Feld, nur dies Feld enthält die ganze Energie. Ein Energiestrom eilt mit Lichtgeschwindigkeit am Draht entlang nach der Großstadt. Am Draht entlang, nicht im Draht. Das Feld, in der freien Luft, enthält die ganze Energie des Elektrizitätswerkes. Man merkt es ja, wenn man den Strom plötzlich abschaltet, wie die plötzlich frei werdende Energie des zusammenbrechenden Feldes sich in den meterlangen Funken der Öffnungsspannung ihren Weg sucht. Der Strom ist nur ein Übel, ein notwendiges bis jetzt, aber im Grunde unerwünscht. Man braucht ihn, um die Energie zusammenzuhalten, um sie längs des Drahtes ihren Weg zu leiten. Sonst würde sie sich in alle Winde zerstreuen. Auch im Zimmer, wenn ich die Lampe anknipse, läuft dieser unsichtbare, unheimliche Energiefluß neben der Zuleitungsschnur, durch die Luft und an der Wand zur Lampe. Man muß, wenn man schon an die Feldtheorie von Maxwell und Faraday glaubt, auch konsequent sein. Die Energie steckt im Feld. Vielleicht gelingt es einmal, den Draht ganz fortzulassen. Ansätze sind vorhanden." Und ich zeigte über die breite, schimmernde Fläche der Havel, wo sich am anderen Ufer, in der beginnenden Dämmerung verschwindend, die dünnen, zerbrechlichen Funktürme erhoben. „Dort — 150 KW strahlt die Antenne aus, wahllos, nach allen Richtungen zerstreut sie ihre Energie, überallhin. Deshalb fängst du mit deinem Radio-Apparat nur Bruchteile eines Millionstel Watt davon auf und mußt diesen geringen Rest erst künstlich verstärken. Aber man baut neuerdings Richtstrahler, Antennen, die ihre Energie nur in einer ganz bestimmten Richtung aussenden. Die neuen Richtstrahler nach

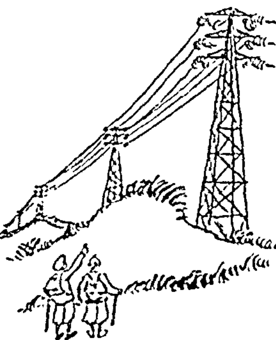
für die letzten beiden Tatsachen ist also die Bewegung, die Veränderung. Und auf diesen simplen Tatsachen, die freilich bis heute ungeklärte Wunder sind und es wohl bleiben werden, baut sich die gesamte Elektrotechnik unserer Tage auf."

Und so endete dies Gespräch, das von einer defekten Lichtleitung und einem Gewitter seinen Ausgang genommen hatte.

Energie durch die Luft

Wir wanderten über die Heide. In weiter, schwingender Linie, von fern schon den Blick auf sich ziehend, griffen die sanften Bögen der Hochspannung über das Land. Dünn und doch fest und sicher das Gitterwerk der Masten. Die gezackte Kette der Porzellan-Isolatoren, wie ein wunderliches Spielzeug. Und die sechs starken Kupferkabel über unseren Köpfen. Leise summte der Wind in der Leitung.

„Seltsamer Gedanke", meinte mein Freund. „In diesen zwei fingerdicken Kupferleitungen jagen 27200 Pferdekräfte nach Berlin. 220000 Volt Spannung, 100 Ampere. Und nichts, gar nichts von diesem gewaltigen Energiestrom siehst du den Drähten an."



„Richtig", sagte ich. „Aber noch seltsamer ist dies: die Kabel sind hohl. Nur an der Außenseite fließt der Elektronenstrom, so wie ein hohler Röhrenknochen genau so gut trägt wie ein Vollstab. Und noch seltsamer: dieser ganze Starkstrom ist nicht das eigentliche. Das Kabel

Wellen

Ein Kornfeld breitet seine leuchtende Flut über die helle Landschaft. Golden schimmert es in der Sonnenglut, ein paar Schmetterlinge tanzen in ihrem unberechenbaren, charakterlosen Flug durch die zitternde Luft. Und der Sommerwind macht sich auf, stark und heiß, und fährt mit brausendem Rauschen über das Feld. Mit weicher schwingender Bewegung biegen sich die schweren Ähren



auf ihren dünnen Halmen und kehren zitternd wieder um, halten ein in ihrer tiefen Verbeugung, wenn der Windstoß vorbei ist, richten sich auf, schwanken noch ein wenig hin und her und stehen wieder ruhig. Große, breite Wogen laufen über das Kornfeld, Wellen vor dem Wind, ein Schwingen, eine weite harmonische Bewegung, ein wildes, ruckartiges Schlagen und Flattern bei der plötzlichen unvermutet hervorbrechenden Bö. Wir sehen die Welle über das weite Feld laufen, bis sie hinter dem leichten Hügel dem Blick entschwindet.

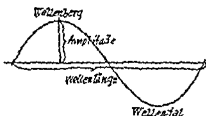
Eine Welle lief über das Feld. Bisweilen geschieht es, daß du an einem solchen Sommertag im Feld, im Schatten eines Busches gelagert, mit deinen Augen auf der geheimnisvollen Harmonie dieser Bewegung haftenbleibst, dein Blick nicht mehr loskommt, mit den Wellen über das Feld wandert, zur nächsten springt — gebannt von der verborgenen Schönheit dieser Bewegung, von dem zwingenden Reiz der Schwingung. Oder war es mehr? Wurde deine Freude und dein andächtiges Staunen bewußter? Fiel dir plötzlich das Rätsel der Welle auf — dieses auf seltsame Weise

Ostasien, Amerika und Südafrika. Zünde eine große Lampe auf dem Funkturm an — du wirst auch bei Millionen Kerzen auf einige Entfernung nichts damit beleuchten können. Sammle die Energie in einem Scheinwerfer, in einem schmalen Lichtbündel — und du kannst noch auf Kilometer ein Haus oder ein Flugzeug taghell beleuchten. Allerdings, wo der Arm des Scheinwerfers nicht hinzeigt — und wäre es nur zwei Schritt neben ihm — dort herrscht Dunkelheit. Wenn es erst gelingt, auch für die langen elektromagnetischen Wellen Scheinwerfer zu bauen — und man ist, wie gesagt, auf dem Weg dazu — so wird man Energie frei durch den Raum schicken können. Die Richtsendung nach Südafrika ist in Frankreich oder Polen nicht zu hören — in Kapstadt aber ausgezeichnet. In zwanzig oder hundert Jahren wird man die Energie nach Berlin strahlen, ohne kostspielige und komplizierte Krücken, wie es die Drähte noch heute sind. Unzugänglichen Observatorien auf Bergesgipfeln, Flugzeugen in der Luft, kleinen Inseln jenseits des großen Wassers wird man die nötige Kraft zusenden — quer durch den Raum, in einem schmalen, konzentrierten Bündel. Das Zeitalter der Elektrizität hat erst begonnen. Noch schießen wir mit Kanonen nach Spatzen, noch herrscht Anarchie und Planlosigkeit im Äther. Aber die Menschheit wird die Elektrizität einmal wieder aus den Fesseln der Materie befreien.“ Es wurde ganz dunkel. Noch immer standen wir unter der Hochspannungsleitung und warfen einen letzten Blick auf die seltsam begeisternde Kurve ihrer schlanken Drähte. 20000 Kilowatt jagten im Luftraum neben dem Kabel nach Berlin. Einen Augenblick glaubte ich die Energie zu sehen, unkörperlich, wie eine Geistererscheinung in leuchtender Hülle um den Draht herum ... Aber wir gingen weiter. Ein Physiker soll die irrationalen Gesichte nicht mit sich durchgehen lassen.

nennt. Der ganze Strick nimmt die Wellenform an, jedes Teilchen tanzt ständig auf und nieder. Der Ausdruck ‚stehende Welle' darf nicht mißverstanden werden. Noch immer laufen die Wellen über die ganze Seillänge hin und zurück. *Das Wesentliche ist nur,* daß die Wellenlänge — die Entfernung von einem Wellenberg zum nächsten — sich gerade so abgleicht, daß die zurücklaufenden Wellen sich glatt in die ankommenden einfügen.

Ein paar Vokabeln müssen wir leider lernen.

Unter Wellenhöhe oder Amplitude wollen wir den Höhenunterschied zwischen Wellenberg oder Wellental und Mittellage verstehen. Die Frequenz oder Schwingungszahl (man mißt sie in „Hertz" und benutzt das Zeichen Hz) gibt an, wie oft jedes Teilchen in einer Sekunde auf und nieder schwingt — vom Berg über das Tal zum Berg zurück. Die Zeit, die es dafür braucht,



heißt Schwingungsdauer. Bei einer Frequenz von 50 Hz — 50 Schwingungen in der Sekunde — ist also die Schwingungsdauer eine fünfzigstel Sekunde; die beiden Größen sind ‚reziprok', umgekehrt.

In dieser fünfzigstel Sekunde hat sich offenbar eine ganze Wellenlänge durch die Stelle des Teilchens hindurchgeschoben, die Welle ist in dieser fünfzigstel Sekunde um eine Wellenlänge, sagen wir beispielsweise um 1 Meter, nach rechts vorgerückt. In einer ganzen Sekunde läuft demnach der Wellenvorgang um 50 × 1 m = 50 m vorwärts; das ist die Geschwindigkeit — die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle. Immer also ist

Geschwindigkeit = Frequenz × Wellenlänge.

Rundfunkwellen z. B. haben 300000 km/sec Geschwindigkeit; der Welle 300 m kommt also die Frequenz 1000000 Hz = 1000 kHz (Kilo-Hertz) zu. Sie können, wenn Sie wollen, alle

zugleich körperlichen und unkörperlichen Vorgangs? Gerade beim wogenden Kornfeld mag dir die zwiespältige Natur der Welle zum erstenmal bewußt werden. Der Windstoß ist vorüber — ein leichtes Zittern, und die Halme stehen kerzengerade und schlank da wie vorher, scheinbar unberührt, und doch ist eben noch eine Welle über das Feld gelaufen, und jeder dieser Halme hat sich tief verneigt, hat dabei seine Nachbarn angestoßen und sie ebenfalls aus der Ruhe gebracht.

Jeder Kornhalm blieb schließlich an seinem Platz stehen, er bekam keine Beine und lief nicht querfeldein. Was querfeldein lief, war bloß die Bewegung, der Zustand des unruhigen Schwingens —



die Welle. Bei der gewaltigen ruhigen Dünung des Ozeans, die die reinste Form der Meereswellen darstellt, liegt der Fall nicht anders. Auch hier rollt bloß die Welle weiter über das Meer hin, das einzelne Wasserteilchen tanzt einmal auf und nieder, aber bleibt an seinem Ort.

Als Kinder haben wir uns häufig damit vergnügt, Wellen an einem Strick zu erzeugen. Ein Strick, ein Seil, das auf der Erde liegt, oder das zwei in der Hand halten. Dann reißt man mit einer kurzen energischen Bewegung das Seil hoch und zurück — man gibt den Anstoß, und von nun an läuft der Vorgang von selbst weiter. Vermöge der inneren Festigkeit des Strickes nimmt jedes Teilchen beim Aufwärtsgehen das folgende mit, solange die Anziehungskraft reicht, erreicht den höchsten Punkt und steigt wieder herunter. Es hat den Anstoß weitergegeben — wie bei einem Staffellauf. Wiederholt man den Anstoß in kurzen regelmäßigen Abständen, so bildet sich das aus, was man eine ‚stehende Welle'

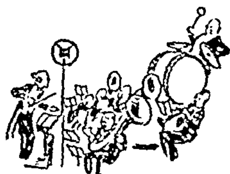
kaum hundert Meter von der Kapelle entfernt. Nicht viel — aber früher!" Sein kleiner, kugelrunder Nachbar putzte eifrig seinen Kneifer und schüttelte ungläubig den Kopf. Aber doch hatte der lange, hagere Mann recht.

Wir wollen es beweisen. Aber wir können einen kleinen Umweg nicht vermeiden. Ob sich die hemdsärmeligen Männer, jeder so hoch wie ein Haus, die drüben auf der Wiese mit viel Energie und lauten Worten das Brettergerüst für eine Berg-und-Tal-Bahn zusammenschlagen, der Tatsache bewußt sind, daß sie ein wichtiges Glied in unserem Beweis bilden? So eine Berg-und-Tal-Bahn müssen wir betrachten. Wir lassen den Wagen oben los. Er beginnt herabzurollen — dank seiner hohen Position hat er Energie gewonnen (man hat ihn ja erst mit viel Arbeit heraufschaffen müssen), die sich in Bewegung umsetzen läßt. Er rollt also, immer schneller werdend, bis zur Talsohle — nun hat er gar keine Höhenenergie mehr — aber er befindet sich in rascher Bewegung. In seiner Geschwindigkeit steckt die Energie verborgen, sie ist nicht verschwunden, sondern hat sich bloß getarnt. Und wir sehen ja auch, wie der Wagen nun über die Mitte hinausschießt, vermöge seiner Bewegung den gegenseitigen Hang hinaufklimmt und auf der anderen Höhe wieder zur Ruhe kommt.

Auch die Elektrizität kann auf diese Weise zum Schwingen gebracht werden. Wir schalten einen Kondensator und eine Selbstinduktionsspule zusammen, laden den Kondensator auf (durch eine Batterie, die dann wieder abgeschaltet wird) und haben damit, wie bei der hochgezogenen Berg-und-Tal-Bahn, eine Energiemenge aufgespeichert, eine Energie, die im Feld zwischen den Platten steht. Jetzt schließen wir den Schalter — der Kondensator entlädt sich, ein Strom fließt durch die Spule. Und damit beginnt die vorher besprochene Wirkung — die Spule baut ihr Magnetfeld auf. Die Kondensatorspannung hat sich ausgeglichen — die elektrische Energie des Feldes ist verschwunden. Es ist der Augenblick, da der Wagen mit großem Lärm die Talsohle durchpoltert. Und auch hier

Rundfunksender daraufhin kontrollieren, ob diese Beziehung erfüllt ist. Die Wellenlänge gibt sozusagen die Schrittlänge, die Frequenz die sekundliche Anzahl der Schritte des Etwas: „Welle", das da über das Seil läuft. Je stärker wir am Seil reißen, desto höher werden die Wellenberge. Die Amplitude allein ist entscheidend für die Energie der Welle. — Genug für heute.

Elektromagnetische Wellen



„Die Chinesen früher . . .!" Ein Blechschild mit einer großen 1 wurde am Pavillon aufgehängt, und der Dirigent der Kurkapelle hob den Taktstock. Aber er klopfte noch einmal ab, ein Mann in weißem Kittel lief herzu und stellte eins der Mikrophone an einen anderen Platz, murmelte ein paar Worte hinein und zog sich dann zurück, sorgsam das schwarze, glatte Kabel hinter sich auslegend. Die Rundfunkübertragung mußte schließlich klappen. Dann, mit langem Paukenwirbel und dem Lärm vieler Blechinstrumente brach die Musik los, und der mitleidige Seewind nahm die Klänge mit sich fort.

„Die Chinesen früher!" wiederholte der lange, hagere Mann, nachdem das Orchester, wahrscheinlich selbst etwas erschrocken über die Wirkung der ersten Anstrengung, in eine gemächlich dahinfließende Erzählung übergegangen war. „Es ist schon so, wie ich sage: jeder Chinese oder Australier, der am Lautsprecher die Übertragung abhört, bekommt diese Musik etwas früher zu hören als wir hier auf unserer Bank auf den Dünen.



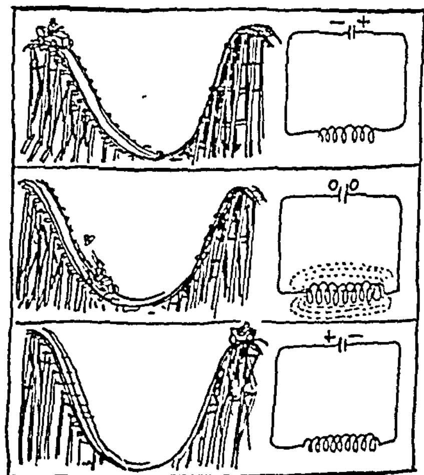
keinen Induktionsstrom mehr aufrechterhalten. Der Kondensator ist nun wieder geladen, wenn auch das Feld anders herum gerichtet ist: der Berg-und-Tal-Bahn-Wagen ist auf der gegenseitigen Höhe angelangt. Die Lage ist jetzt: neues elektrisches Feld zwischen den Platten, geladener Kondensator — kein Magnetfeld in der Spule. Und der Wagen kehrt um, der Strom beginnt wieder zu fließen (in der anderen Richtung jetzt!), baut aufs neue ein Magnetfeld auf — und so geht es weiter. Die elektrische Energie schwingt taktmäßig hin und her. Wir haben einen ‚Schwingungskreis'.

Wir haben bemerkt, wie das Magnetfeld die Rolle der trägen Masse übernimmt: der Wagen rollte dank seiner Trägheit weiter, den anderen Hang hinauf; der Strom fließt dank der ‚Trägheit des Magnetfeldes' noch weiter, wenn der Kondensator schon entladen ist. Indessen — auch hier sind Verluste unvermeidlich; und nur im Gedanken-Experiment fallen sie fort. Die Schwingungen sind ‚gedämpft'; wie ein Pendel, wie der Wagen immer langsamer schwingt, immer energieloser, so nehmen auch die Schwingungen des elektrischen Kreises immer mehr ab und verlöschen schließlich ganz. Aber gerade die Verluste ermöglichen erst den Rundfunk!

Wir wollen uns folgendes anmerken: Ein elektrischer Kreis schwingt mit einer bestimmten, sekundlichen Schwingungszahl, die nur von der Größe des Kondensators und der Selbstinduktion abhängt, so wie die Schwingungsdauer eines Pendels nur von seiner Länge abhängt. Durch Verändern von Kondensatorkapazität oder Selbstinduktion kann man diese ‚Eigenschwingungszahl' in gewissen Grenzen verändern — man kann den Kreis auf verschiedene Frequenzen ‚abstimmen'.

Noch eine Bemerkung im Anschluß hieran: Das Feld besitzt eine gewisse Trägheit; es ist reichlich konservativ und wehrt sich gegen jede Änderung. Das Feld hinkt nach. Woher nimmt es diese Trägheit? Ein Feld ist doch etwas völlig Immaterielles, Unkörperliches — nur ein Zustand, eine Fähigkeit? Wie kann so etwas gewissermaßen Geistiges genau wie ein schwerer Körper Trägheit besitzen?

ist die Energie nur scheinbar verschwunden. Denn jetzt, wo kein Entladungsstrom mehr fließt, hat das Magnetfeld seine Existenzberechtigung verloren. Es bricht zusammen, es verändert sich,



nimmt an Stärke ab und induziert in der Spule einen Extrastrom — in diesem Induktionsstrom findet sich seine Energie wieder. Der Strom fließt weiter, in der alten Richtung, aus dem zusammenbrechenden Magnetfeld gespeist. Und er lädt den Kondensator auf — denn die Elektronen des Stroms stauen sich ja in der rechten Kondensatorplatte, weil es von dort nicht weiter geht. Ist das Magnetfeld auf Null herabgesunken, so kann es

keinen Induktionsstrom mehr aufrechterhalten. Der Kondensator ist nun wieder geladen, wenn auch das Feld anders herum gerichtet ist: der Berg-und-Tal-Bahn-Wagen ist auf der gegenseitigen Höhe angelangt. Die Lage ist jetzt: neues elektrisches Feld zwischen den Platten, geladener Kondensator — kein Magnetfeld in der Spule. Und der Wagen kehrt um, der Strom beginnt wieder zu fließen (in der anderen Richtung jetzt!), baut aufs neue ein Magnetfeld auf — und so geht es weiter. Die elektrische Energie schwingt taktmäßig hin und her. Wir haben einen ‚Schwingungskreis'.

Wir haben bemerkt, wie das Magnetfeld die Rolle der trägen Masse übernimmt: der Wagen rollte dank seiner Trägheit weiter, den anderen Hang hinauf; der Strom fließt dank der ‚Trägheit des Magnetfeldes' noch weiter, wenn der Kondensator schon entladen ist. Indessen — auch hier sind Verluste unvermeidlich; und nur im Gedanken-Experiment fallen sie fort. Die Schwingungen sind ‚gedämpft'; wie ein Pendel, wie der Wagen immer langsamer schwingt, immer energieloser, so nehmen auch die Schwingungen des elektrischen Kreises immer mehr ab und verlöschen schließlich ganz. Aber gerade die Verluste ermöglichen erst den Rundfunk!

Wir wollen uns folgendes anmerken: Ein elektrischer Kreis schwingt mit einer bestimmten, sekundlichen Schwingungszahl, die nur von der Größe des Kondensators und der Selbstinduktion abhängt, so wie die Schwingungsdauer eines Pendels nur von seiner Länge abhängt. Durch Verändern von Kondensatorkapazität oder Selbstinduktion kann man diese ‚Eigenschwingungszahl' in gewissen Grenzen verändern — man kann den Kreis auf verschiedene Frequenzen ‚abstimmen'.

Noch eine Bemerkung im Anschluß hieran: Das Feld besitzt eine gewisse Trägheit; es ist reichlich konservativ und wehrt sich gegen jede Änderung. Das Feld hinkt nach. Woher nimmt es diese Trägheit? Ein Feld ist doch etwas völlig Immaterielles, Unkörperliches — nur ein Zustand, eine Fähigkeit? Wie kann so etwas gewissermaßen Geistiges genau wie ein schwerer Körper Trägheit besitzen?

Nun — ein Feld repräsentiert eine gewisse Energie. Und Energie ihrerseits besitzt Trägheit. Wenn ein Magnetfeld zusammenbricht, muß seine Energie woanders hin; sie kann ja nicht einfach ins leere Nichts verschwinden. Sie wehrt sich dagegen, plötzlich an einen anderen Punkt des Raumes verfrachtet zu werden. Sie sieht nicht ein, wozu das gut sein soll — so erfordert die Energie-Übertragung eine gewisse Zeit. Hier gilt es einzuhaken:

Der Feldbegriff ist gleich dem der Nahewirkung — und er legt den Gedanken einer endlichen Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Energie nahe. Eine Fernwirkungs-Theorie hat keine Möglichkeit, die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit zu bestimmen. Das ist eine Frage, auf die sie die Antwort verweigert. Sie lehnt es prinzipiell ab, sich über den Mechanismus der Übertragung Gedanken zu machen. Aber über diesen Punkt wollen wir später noch reden.

Die Elektronenröhre

Der Großschah von Persien ließ einen etwas verrückten Wasserkreislauf bauen. Eine Pumpe pumpt fortwährend Wasser aus dem See A heraus, es läuft über Becken und Kanäle in den See K hinein. Die Folge? In kurzer Zeit ist A leer, K überfüllt, und von einem Kreislauf ist keine Rede. Die Architekten und Wasserkunstbauer wurden hingerichtet; aber der Kreislauf verbesserte sich nicht wesentlich dadurch. Bis der Hofnarr Nasreddin erschien und sagte: Laßt mich nur machen; übliche Belohnung vorausgesetzt. Und er ging hin und entzündete ein großes Feuer unter dem See K. Das Wasser brodelte, kochte, verdampfte, ein dichter Dampfstrahl zog davon und schlug sich in A nieder. So, durch das Verdampfen, wurde das Wasser über den leeren Raum transportiert. Die Elektronenröhre arbeitet ähnlich. Durch eine ganz luftleer gepumpte Röhre kann kein Strom fließen — wie groß auch die Spannung an den Elektroden ist. Die Elektronen sind wohl im

Draht der Kathode in genügender Anzahl; aber sie können nicht heraus. Es bleibt nur der Weg, sie zu verdampfen. Man heizt den Kathodendraht bis zu heller Rotglut. Und dann verdampft das



Elektronengas aus dem Draht, es kann nun die aufgelockerte Oberfläche überschreiten. Eine dichte Wolke von Elektronendampf lagert sich um die Kathode, und die Dichte der Elektronenwolke, des Elektronendampfes läßt sich nach derselben Formel berechnen, die man

Der Ausweg:

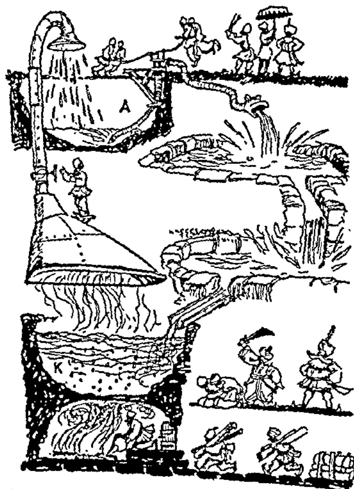
Nun — ein Feld repräsentiert eine gewisse Energie, und Energie ihrerseits besitzt Trägheit. Wenn ein Magnetfeld zusammenbricht, muß seine Energie woanders hin; sie kann ja nicht einfach ins leere Nichts verschwinden. Sie wehrt sich dagegen, plötzlich an einen anderen Punkt des Raumes verfrachtet zu werden. Sie sieht nicht ein, wozu das gut sein soll — so erfordert die Energie-Übertragung eine gewisse Zeit. Hier gilt es einzuhaken:

Der Feldbegriff ist gleich dem der Nahewirkung — und er legt den Gedanken einer endlichen Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Energie nahe. Eine Fernwirkungs-Theorie hat keine Möglichkeit, die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit zu bestimmen. Das ist eine Frage, auf die sie die Antwort verweigert. Sie lehnt es prinzipiell ab, sich über den Mechanismus der Übertragung Gedanken zu machen. Aber über diesen Punkt wollen wir später noch reden.

Die Elektronenröhre

Der Großschah von Persien ließ einen etwas verrückten Wasserkreislauf bauen. Eine Pumpe pumpt fortwährend Wasser aus dem See A heraus, es läuft über Becken und Kanäle in den See K hinein. Die Folge? In kurzer Zeit ist A leer, K überfüllt, und von einem Kreislauf ist keine Rede. Die Architekten und Wasserkunstbauer wurden hingerichtet; aber der Kreislauf verbesserte sich nicht wesentlich dadurch. Bis der Hofnarr Nasreddin erschien und sagte: Laßt mich nur machen; übliche Belohnung vorausgesetzt. Und er ging hin und entzündete ein großes Feuer unter dem See K. Das Wasser brodelte, kochte, verdampfte, ein dichter Dampfstrahl zog davon und schlug sich in A nieder. So, durch das Verdampfen, wurde das Wasser über den leeren Raum transportiert. Die Elektronenröhre arbeitet ähnlich. Durch eine ganz luftleer gepumpte Röhre kann kein Strom fließen — wie groß auch die Spannung an den Elektroden ist. Die Elektronen sind wohl im

Draht der Kathode in genügender Anzahl; aber sie können nicht heraus. Es bleibt nur der Weg, sie zu verdampfen. Man heizt den Kathodendraht bis zu heller Rotglut. Und dann verdampft das



Elektronengas aus dem Draht, es kann nun die aufgelockerte Oberfläche überschreiten. Eine dichte Wolke von Elektronendampf lagert sich um die Kathode, und die Dichte der Elektronenwolke, des Elektronendampfes läßt sich nach derselben Formel berechnen, die man

Der Ausweg:

Nun — ein Feld repräsentiert eine gewisse Energie. Und Energie ihrerseits besitzt Trägheit. Wenn ein Magnetfeld zusammenbricht, muß seine Energie woanders hin; sie kann ja nicht einfach ins leere Nichts verschwinden. Sie wehrt sich dagegen, plötzlich an einen anderen Punkt des Raumes verfrachtet zu werden. Sie sieht nicht ein, wozu das gut sein soll — so erfordert die Energie-Übertragung eine gewisse Zeit. Hier gilt es einzuhaken:

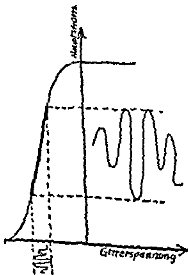
Der Feldbegriff ist gleich dem der Nahewirkung — und er legt den Gedanken einer endlichen Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Energie nahe. Eine Fernwirkungs-Theorie hat keine Möglichkeit, die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit zu bestimmen. Das ist eine Frage, auf die sie die Antwort verweigert. Sie lehnt es prinzipiell ab, sich über den Mechanismus der Übertragung Gedanken zu machen. Aber über diesen Punkt wollen wir später noch reden.

Die Elektronenröhre

Der Großschah von Persien ließ einen etwas verrückten Wasserkreislauf bauen. Eine Pumpe pumpt fortwährend Wasser aus dem See A heraus, es läuft über Becken und Kanäle in den See K hinein. Die Folge? In kurzer Zeit ist A leer, K überfüllt, und von einem Kreislauf ist keine Rede. Die Architekten und Wasserkunstbauer wurden hingerichtet; aber der Kreislauf verbesserte sich nicht wesentlich dadurch. Bis der Hofnarr Nasreddin erschien und sagte: Laßt mich nur machen; übliche Belohnung vorausgesetzt. Und er ging hin und entzündete ein großes Feuer unter dem See K. Das Wasser brodelte, kochte, verdampfte, ein dichter Dampfstrahl zog davon und schlug sich in A nieder. So, durch das Verdampfen, wurde das Wasser über den leeren Raum transportiert. Die Elektronenröhre arbeitet ähnlich. Durch eine ganz luftleer gepumpte Röhre kann kein Strom fließen — wie groß auch die Spannung an den Elektroden ist. Die Elektronen sind wohl im

mulig im Raum zwischen Kathode und Gitter. Man sieht — das Gitter wirkt als Ventil. Durch mehr oder weniger starke Gitterladung wird der durchgelassene Elektronenstrom automatisch geschwächt oder gestärkt. Je stärker negativ das Gitter geladen ist, um so stärker stößt es die Elektronen zurück, um so weniger Elektronen gelangen zur Anode; aber schon eine minimale Verringerung der negativen Gitterladung, ein winziges ‚Positiver-werden', und eine gewaltige Schar von Elektronen überwindet das Hindernis und fliegt zur Anode — ein kräftiger Strom. Es ist wie beim Hochsprung: Je höher die Latte liegt, um so weniger Menschen können sie überspringen; es gibt viele Springer, die 1,80 m schaffen — aber die winzige Steigerung von 5 cm setzt die allermeisten matt, und bei Höhen über 1,90 m verringert jeder Zentimeter mehr die Zahl der Wettbewerber enorm.

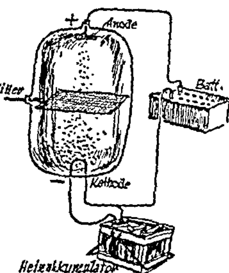
Es ist das Wesentliche einer jeden Ventilwirkung: durch kleine Kräfte werden Riesenkräfte gesteuert. Der Lokomotivführer dreht einen Regulatorhebel mit der Hand — und die tausend Pferde der Schnellzugsmaschine gehorchen der Bewegung. Ein leichter Tritt auf den Akzelerator — und der hundertpferdige Omnibus beschleunigt sein Tempo. Eine minimale Änderung der Gitterspannung reicht aus, um den viele Ampere starken Strom einer großen Elektronenröhre zu steuern. Wird die Gitterspannung im Takt pulsierend verändert, so schwingt der starke Strom des Hauptkreises im gleichen Takt mit. Wir erinnern uns, daß die Elektronen unglaublich leicht sind — daß sie keine Masse im gewöhnlichen



auch beim Verdampfen einer Flüssigkeit anwendet. Man sagt, eine ‚Raumladung' hätte sich gebildet. Freilich, die Abstoßung der negativen Wolke wirkt dem Verdampfungsbestreben weiterer Elektronen entgegen, und so würde der Prozeß bald zum Stillstand kommen, wenn nicht die immer hungrige positive Anode ständig Wolkenfetzen an sich saugen würde. Mit großer Geschwindigkeit eilen die freien Elektronen durch den Glaskolben — ein Strom von Elektronen, wie der Dampfstrom Nasreddins. Für die abgewanderten aber treten jetzt neue Elektronen aus der glühenden Kathode aus. So schließen die verschiedenen Kräfte ein ‚gentlemen agreement' — ein Strom fließt durch den luftleeren Raum.

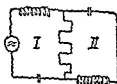
Ganz gut, sagte der Schah zu Nasreddin, aber noch ein Fehler. Der Strom muß geregelt werden können! Ich will mal mehr, mal weniger Wasser durch meinen Garten schicken. Allright, antwortete der Narr, ging hin und baute ein Ventil in den Dampfweg ein; und wenn er es weiter oder weniger weit aufdrehte, ging mehr oder weniger Dampf hinüber — er konnte das Wasser aufs beste regeln. Auch die Elektronenröhre bekommt ein Ventil.

Es ist das Gitter — ein Drahtgitter, mitten in den Weg der Elektronen gelegt. Zunächst stört sie das Gitter wenig. Wenn das Gitter aber negativ aufgeladen wird, so stößt es einen Teil der verdampften Elektronen zurück; es verstärkt die rücktreibende Kraft der Wolke noch. Und man könnte die negative Aufladung so groß machen, daß nicht ein einziges Elektron zur Anode fliegt. Zwar das Ziel ist lockend, und die Anziehungskraft der Anode mag groß sein. Aber näher und größer ist das unheimliche, abscheuliche Hindernis des negativen Gitters. Das Elektron bleibt miß-

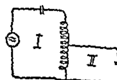


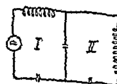
Das Magnetfeld des Schwingungskreises umfaßt also auch die Gitterspule und induziert in ihr beim Zusammenbrechen einen Strom, der die Gitterspannung ändert. Der Spannungskreis ist auf das Gitter „zurückgekoppelt". Und man erkennt, daß wirklich das Gitter notwendigerweise im Gleichtakt mit dem Schwingungskreis sein wird — und daß also auch der Anodenstrom in diesem Takt gesteuert wird. So schaukelt sich der Strom im Schwingungskreis von selbst so lange auf, bis die immer unvermeidlichen Verluste eine Grenze setzen. Damit ist das Prinzip des modernen ungedämpften Schwingungskreises gegeben. Dieser Kreis schwingt, einmal angestoßen, so lange, bis die Batterie erschöpft, bis also das Uhrgewicht abgelaufen ist.

Man sollte von der Kopplung noch etwas mehr sagen: Wir haben zwei Schwingungskreise; der erste ist auf irgendeine Weise — zum Beispiel mittels eines Funkeninduktors — von ständigen elektrischen Schwingungen durchpulst. Wie kann man dem zweiten etwas von diesem Reichtum abgeben?

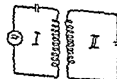


Nun, man kann zum Beispiel dem elektrischen Strom den Zutritt zum Kreis ermöglichen, indem man die Kreise einfach aneinanderschaltet. Der feine Mann behauptet, die Kreise seien galvanisch gekoppelt, und spricht genauer von Widerstands- und konduktiver Kopplung (siehe erste und zweite Skizze). Sie sehen — es kann gar nicht ausbleiben, daß der schwingende Strom des Kreises I sich auf Kreis II ausdehnt und dort ebenfalls Schwingungen erregt.





Der feine Mann schlägt noch eine neue Möglichkeit vor: kapazitive Kopplung (Kondensator-Kopplung, dritte Skizze), und



Sinn besitzen. So folgen sie jedem Impuls im gleichen Moment — während der Omnibus eine gewisse Zeit braucht, bis er auf die höhere Geschwindigkeit kommt, folgt der Hauptstrom in der Elektronenröhre den Befehlen des Gitters augenblicklich.

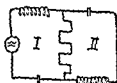
Auf diesen Tatsachen beruht die Verstärkerwirkung der Elektronenröhre — die, wie wir gesehen haben, eigentlich gar keine Verstärkung ist: Man ersetzt vielmehr einfach den schwachen Gitterstrom durch den um vieles stärkeren Hauptstrom — der aber alle Schicksale des Gitterstroms getreulich nacherlebt.

Rückkopplung

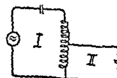
Jetzt können wir zu unserem Hauptproblem zurück — wie lassen sich die Verluste in unserem Schwingungskreis ausgleichen? Ein Uhrpendel schwingt ja auch tagein, tagaus, ohne langsamer zu werden. Aber es benutzt einen Trick: Jedesmal bei der Umkehr bekommt es einen kleinen Stoß — ein Zahnrad, vom großen Messinggewicht getrieben, rückt ein wenig vor und gibt dem Pendel den notwendigen zusätzlichen Impuls. Und das Wesentliche — das Pendel selbst löst im entscheidenden Moment die Zahnrad-Hemmung aus; es besorgt sich die nötige Zusatz-Energie automatisch im richtigen Augenblick — sonst könnte es gar nichts mit ihr anfangen — und steuert so den Gang der Uhr. Meißner ist es gelungen, für elektrische Schwingungskreise dasselbe Problem zu lösen. Ein Schwingungskreis wird gebaut. Er entspricht dem Pendel. Er braucht ständig Energie, die einer Batterie entnommen wird. Sie entspricht dem Messinggewicht. Und diese Energie muß im rechten Moment einsetzen — dafür verwendet der Uhrenbauer eine Hemmvorrichtung, die durch das Pendel selbst im richtigen Augenblick ausgelöst wird. Und wir benutzen eine Elektronenröhre, deren Gitter wir durch den Schwingungskreis selbst steuern, so daß es immer im richtigen Augenblick einen neuen Stromstoß hindurchläßt.

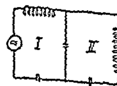
Das Magnetfeld des Schwingungskreises umfaßt also auch die Gitterspule und induziert in ihr beim Zusammenbrechen einen Strom, der die Gitterspannung ändert. Der Spannungskreis ist auf das Gitter „zurückgekoppelt". Und man erkennt, daß wirklich das Gitter notwendigerweise im Gleichtakt mit dem Schwingungskreis sein wird — und daß also auch der Anodenstrom in diesem Takt gesteuert wird. So schaukelt sich der Strom im Schwingungskreis von selbst so lange auf, bis die immer unvermeidlichen Verluste eine Grenze setzen. Damit ist das Prinzip des modernen ungedämpften Schwingungskreises gegeben. Dieser Kreis schwingt, einmal angestoßen, so lange, bis die Batterie erschöpft, bis also das Uhrgewicht abgelaufen ist.

Man sollte von der **Kopplung** noch etwas mehr sagen: Wir haben zwei Schwingungskreise; der erste ist auf irgendeine Weise — zum Beispiel mittels eines Funkeninduktors — von ständigen elektrischen Schwingungen durchpulst. Wie kann man dem zweiten etwas von diesem Reichtum abgeben?

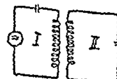


Nun, man kann zum Beispiel dem elektrischen Strom den Zutritt zum Kreis ermöglichen, indem man die Kreise einfach aneinanderschaltet. Der feine Mann behauptet, die Kreise seien galvanisch gekoppelt, und spricht genauer von Widerstands- und konduktiver Kopplung (siehe erste und zweite Skizze). Sie sehen — es kann gar nicht ausbleiben, daß der schwingende Strom des Kreises I sich auf Kreis II ausdehnt und dort ebenfalls Schwingungen erregt.





Der feine Mann schlägt noch eine neue Möglichkeit vor: kapazitive Kopplung (Kondensator-Kopplung, dritte Skizze), und



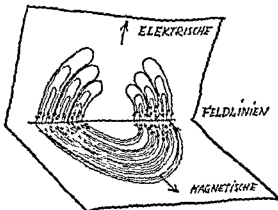
als letzte eine mehr indirekte Art: die induktive Kopplung (vierte Skizze). Hier besteht keine leitende Verbindung zwischen beiden Kreisen, aber das Magnetfeld der Spule I umhüllt auch die Spule II; und wenn dieses Feld im Takt der Schwingung seine Stärke verändert, so induziert es in Spule II und damit im ganzen Kreis II einen schwingenden elektrischen Strom.

Unser Wissen ist bereits ungeheuer angeschwollen. Es ist an der Zeit, den Schritt in die weite Welt zu wagen. Wir koppeln — sagen wir: induktiv — einen langen geraden Draht, die Antenne, an ein kunstvolles System von Schwingungskreisen, den Sender. Und nun geht es los. Der Maschinist stellt die Heizgeneratoren an, die Glühdrähte erhitzen sich, kühlendes Wasser rauscht durch die Porzellanschlangen um die Senderöhren, an denen 12000 Volt Anodenspannung liegen — und dann legt er den letzten Schalter um, ein Stromstoß jagt durch die Kreise, sie geraten ins Schwingen, wirken durch die Rückkopplung auf das Gitter zurück und schaukeln sich auf Höchstenergie auf. Die Verstärkerkreise werden einer nach dem andern angestoßen; der letzte ist mit der Antenne verkoppelt; und so haben wir denn einen Strom, der ruhelos im Antennendraht auf und ab schwingt.

Im Kino benutzt man manchmal den Trick, zur Demonstration der Technik eines Hochspringers z. B., das Bild plötzlich stillstehen zu lassen; dann schwebt der Springer in erstarrter Schönheit über der Latte. Dasselbe tun wir. Der Antennenstrom fließt — wir sagen plötzlich „Halt“ und sehen zu, was los ist.

Aha, ein elektrisches Feld ist vorhanden, dessen Linien senkrecht vom Leiter fortgehen, und ein magnetisches dazu, das sich in Kreisen um den Draht legt. Das ist uns nichts Neues. Aber wenn wir den eingefrorenen Zustand etwas näher betrachten, sehen wir dies: Das magnetische Feld um den Draht ist in dieser kurzen Zeit bis zu einer gewissen Entfernung von der Antenne, sagen wir etwa 100 m, vorgewachsen. Diese Grenze zwischen Feld und Nichtfeld aber, zwischen Spannung und Nichtspannung, das sehen wir, ist

unstetig, sie wird sich sogleich weiter vorschieben, wenn wir das Kommando ‚Weiter' geben. Dem elektrischen Feld geht es nicht anders, und man kennt die Geschwindigkeit, mit der das elektrische Feld und das magnetische in den Raum hinauswachsen — sie



beträgt 300000 km/sec. Erkennen Sie wieder den Einfluß der Faradayschen Nahewirkungs-Vorstellungen?

Geben wir den Befehl ‚Weiter'. Der Ausbreitungsprozeß nimmt seinen Fortgang. Weil aber die Antenne mit einem Schwingungskreis verkoppelt ist, kehrt sich jetzt in ihr die Stromrichtung um, und die neu entstehenden magnetischen Feldlinien sind anders herum gewunden. Ein System konzentrischer Ringe ständig wechselnder Richtung, so ziehen die magnetischen Felder mit ihren 300000 km/sec in die Welt hinaus — Wechselfelder.

Mit den elektrischen Feldern verhält es sich ein wenig anders. Wenn die Spannung in der Antenne allmählich absinkt und auf Null zurückgeht, so ist dies das Signal für die Feldlinien, zurückzukehren, sich in den Leiter zurückzuziehen. Den nächstliegenden gelingt die Heimkehr. Die aber, die sich schon zu weit in die Fremde hinaus gewagt haben, müssen bald sehen, daß ihre rechtzeitige Rückkehr nicht möglich ist. So machen sie aus der Not eine Tugend, sie

schnüren sich ab, bilden einen elektrischen Wirbel und ziehen als solcher hinaus. Wirbel elektrischer Kraft, einer nach dem andern, reißen ab und machen sich auf den Weg in die Ferne. Auch das elektrische Feld ist ein Wechselfeld und reist mit 300000 km/sec.

Die Antenne bildet einen offenen Schwingungskreis; darauf, auf ihrer langgestreckten, freien Form, beruht es, daß sich die elektrischen und magnetischen Feldlinien in so starkem Maß abschnüren und hinausziehen können; natürlich müssen wir uns die im Ausschnitt gezeichneten Feldlinien zu räumlichen Kugelschalen ergänzt denken.

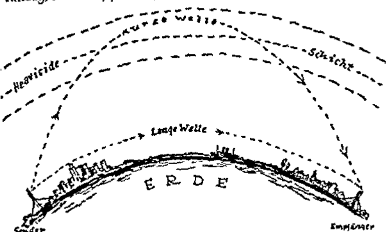
Die Antenne strahlt. Elektromagnetische Kugelwellen sendet sie in den Raum, Wellen, die im Gleichtakt mit den Schwingungskreisen des Senders schwingen. An jedem Punkt des Raums jagen die elektromagnetischen Wechselfelder vorüber, und immer stehen elektrische und magnetische Feldstärke senkrecht aufeinander und senkrecht zur Fortschreitungsrichtung der Welle.

Wellenausbreitung

Die Wellen wandern durch die Luft, und die Luft ist voll elektrischen Lebens. Elektronen halten sich in ihr auf und Jonen, die hauptsächlich durch die Sonnenstrahlung erzeugt werden und sich nachts wieder neutralisieren. Sie alle werden von den vorüberjagenden Wellen zum Mitschwingen gebracht und zapfen den Wellen dabei Energie ab. Die Luft ist ein trübes Medium für die elektrischen Wellen, um so trüber, je ‚belebter' sie ist. Deshalb haben wir nachts besseren Empfang als tagsüber, und im Winter, wenn die Sonne nur kurze Zeit am Himmel steht, besseren als im Sommer.

Es ist eine alte Erfahrung, daß lange Wellen, langsam schwingende, ein trübes Medium besser durchdringen als kurze. Schon seit Urzeiten telegrafieren die Eingeborenen Südamerikas und Afrikas mit tiefdröhnenden, dumpfen Signaltrommeln — mit langen Schallwellen also.

Je länger die Welle, desto besser also im allgemeinen der Empfang, desto sicherer bei Tag und Nacht. Deshalb benutzte man im Anfang der drahtlosen Übersee-Telegrafie von Nauen aus Riesenwellen von 20 km. Diese Welle läuft am Erdboden entlang, die elektrischen Kraftlinien stehen senkrecht auf der Ober-



fläche. Sie werden an der Erde entlang geführt, wie an einem Draht, denn die Erde ist ein Leiter für die Elektrizität. Wir sprechen von einer Bodenwelle. Je kürzer die Wellen sind, desto größer ist der Bruchteil, der sich vom Boden löst; besonders bei kurzen Wellen unter 100 m. Sie steigen steil hinauf in die Atmosphäre — gehen im Weltraum verloren, wie man fürchtete.

Überraschenderweise gelang es aber amerikanischen Rundfunk-Amateuren, denen dieser ‚nutzlose' Wellenbereich großmütig überlassen wurde, bald ganz enorme Reichweiten zu erzielen, ja, sogar den Ozean zu überbrücken, und das mit einem Bruchteil der Sendeleistungen der Großfunkstationen. Heute wissen wir den Grund. In großer Höhe, etwa 80—100 km über dem Erdboden, befindet sich eine stark leitende Schicht aus elektrisch geladenen Luftteilchen, Jonen: die Heavisideschicht. Hier werden die Radiowellen zurückgeworfen (reflektiert). Es ist ganz so, als wäre die Erde in 100 km Höhe von einer Metallhaube umgeben!

Man hat ihre Höhe mit dem Elektrizitätslot bestimmt: Ein Wellenstoß wird hinaufgesandt, dort oben reflektiert und nach unten zurückgeworfen. Nach etwa einer tausendstel Sekunde ist er wieder da, und diese Zeit kann sehr genau gemessen werden.

So wandern die kurzen Wellen den größten Teil ihres Weges durch die ‚Ionosphäre', ohne jede Störung, und kommen verhältnismäßig noch sehr stark nach langen Strecken wieder herunter. Daher der manchmal überraschend gute Empfang kurzer Wellen bei sehr geringer Sendeenergie. Nur leider versagt die Heavisideschicht manchmal. Sie wird unruhig, sie mag sich verformen, sie leitet auf einmal schlecht — und der Empfang schwindet siechend dahin, setzt aus und kommt erst langsam wieder, wenn die Heavisideschicht sich wieder beruhigt hat. Man nennt das Fading. Die Heavisideschicht ist eben doch keine Metallhaube! Zwischen Sender und Empfänger kann eine Zone liegen, wo der Kurzwellensender überhaupt nicht zu hören ist — eine Zone des Schweigens. Es ist interessant, daß man auch für den Schall bei großen Explosionen eine solche Zone des Schweigens und eine solche abnorme Reichweite gemessen hat. Auch die Schallwellen gehen hoch hinaus in die Stratosphäre, sie werden dort aber schon in etwa 35 km Höhe durch eine warme Ozonschicht wieder zur Erde heruntergeworfen.

Jede elektrische Schwingung, jede Veränderung eines Stroms bedeutet eine Veränderung des Feldes, eine elektromagnetische Störung, die sich mit Lichtgeschwindigkeit durch den Raum ausbreitet. Wenn ich meine Lampe mit technischem Wechselstrom (50 Perioden/sec) betreibe, so sendet sie elektrische Wellen von rund 6000 km Wellenlänge aus. Natürlich ist die Energie gering — auch ganz abgesehen von der großen Wellenlänge ist die Lampe ja nicht als Strahler gebaut. Aber es kann doch bei elektrischen Apparaten — besonders solchen für Hochfrequenz, bei Staubsaugern, Heizkissen usw., durch Funkenüberschlag und dergleichen — vorkommen, daß sie merkliche Wellen aussenden, die in den Bereich der Radiowellen fallen. In einem solchen Haus ist Rundfunk-

empfang unmöglich. Man hört nicht nur den Deutschlandsender — man hört gleichzeitig den Sender im Staubsauger, der zufällig die gleiche Wellenlänge hat, aber ein sehr unerwünschtes Programm, nichts als Knattern und Heulen aussendet. Die Apparate müssen einen Störschutz erhalten — sie müssen am Schwingen, an der Ausstrahlung gehindert werden. Das geschieht meist durch eine Drosselspule, die die störenden Wellen schon vor der Verabschiedung schluckt, oder durch einen Entstör-Kondensator.

Sender und Empfänger

Wir haben ein wenig vorgegriffen, was in wissenschaftlichen Büchern eigentlich nicht vorkommen dürfte. Der korrekte Leser eines solchen Buches wird nichts glauben, was ihm nicht im Laufe der Lektüre erklärt worden ist, und so wird er zunächst auch bezweifeln, daß Rundfunkempfang oder drahtlose Telegrafie überhaupt möglich ist; mit Recht wird er einwenden, daß wir zwar einen Sender beschrieben haben, der ein elektrisches Wechselfeld in den Äther hinausjagt, schnell einherziehende Wellen. Aber, *so wird er* weiter sagen, der Sender verstreut seine Energie achtlos in den weiten Raum; selbst wenn er 150 Kilowatt auf die Antenne pumpt, wird in einer großen Entfernung nur noch ein winziger Bruchteil zu merken *sein, weil dieselbe* Energie, die zunächst auf der Antenne eng zusammengedrängt war, nun über den ganzen Erdball verteilt ist. Zum zweiten aber, wird er sagen: Die Berliner Sendewelle hat eine sekundliche Schwingungszahl von 841000. Welches Telefon, welcher Lautsprecher kann so rasch schwingen? Und wenn er es könnte, so würde unser Ohr nichts vernehmen, da unser Hörapparat nur für Wellen zwischen 16- und 20000 Schwingungen in der Sekunde empfänglich ist. Nein, sagt der korrekte Leser — Rundfunk ist unmöglich!

Ich könnte einwenden, daß eben jetzt der Lautsprecher auf meinem Schreibtisch sich hören läßt; aber das ist kein Beweis.

— — · = g

Denken wir lieber an unseren Sender zurück, wie wir ihn vorher beschrieben hatten; und nun nehmen wir an, daß es dem Maschinisten zu langweilig wird; er beginnt, seinen Sendestrom in mutwilliger Weise zu unterbrechen, er spielt mit dem Tasthebel des Schalters, in wechselndem Takt, vielleicht so: Lang — lang — kurz. Und die Folge: keinen glatten, ununterbrochenen Wellenzug — nein, Wellenstöße sendet die Antenne jetzt aus. Wellengruppen — lang — lang — kurz. Ein alter Telegrafist, der dies Zeichen lang, lang, kurz hört, wird unwillkürlich „g" denken — denn es ist das Morsezeichen für den Buchstaben g. Da erkennen wir eine Möglichkeit für drahtlose Telegrafie.

Die zweite: Man verändert den Sendestrom in seiner Stärke *periodisch*. Bedenken wir — das Gitter steuert die Stromstärke. Führt man einen Wechselstrom auf das Gitter einer Elektronenröhre, so schwankt auch der Hauptstrom im Takt der Wechselspannung mit. Und wenn man z. B. in ein Mikrophon spricht und die Wechselströme des Mikrophons auf ein Gitter gibt, so schwankt die Hauptstromstärke im Rhythmus der Sprechschwingungen. Das heißt — auch die Energie, die die Antenne in den Raum strahlt, die Energie des Wellenfeldes, die Wellenhöhe also schwankt im Rhythmus der Sprechschwingungen. Und so sieht das Bild dieser Welle aus: Die hochfrequenten Wellen sind die Träger der Sprechwellen; man sagt, die Wellen sind moduliert worden. Das ist das Prinzip des Rundfunksenders.


Trägerwelle


Sprechstrom


Modulierte Welle

Man hat die Hypothese aufgestellt, daß die Schmetterlinge über ihre Fühler kurze elektrische Wellen ausstrahlen und empfangen, mit deren Hilfe sie sich verständigen (Fühler heißt auf französisch

Antenne). Wir sind keine Schmetterlinge. Wir merken nichts von den elektrischen Stürmen, die den Äther durchrasen, wenn wir uns nicht einen komplizierten Apparat dazu schaffen.

Zunächst spannen wir eine Antenne aus, in der alle die vielen vorüberjagenden Wechselfelder kleine Schwingungen erregen —



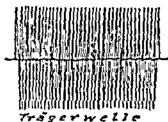
ob sie aus Berlin, London, von der Sonne oder dem nächsten Staubsauger herkommen. Der Schwingungszustand einer Antenne sieht verwirrend aus; aber sie läßt sich nicht stören und gibt die empfangenen Impulse getreulich weiter. Wohin? Auf einen Schwingungskreis natürlich. Denn nichts Materielles würde es fertigbringen, im rasenden Takt der Berliner Sendewellen etwa, also 641000mal in der Sekunde, mitzuschwingen; nur die Elektrizität kann es. Und wir drehen nun den Knopf des Drehkondensators im Radioapparat so lange, d. h. wir verändern die Eigenschwingung des Schwingungskreises so lange, bis sie auch 641 kHz beträgt. Wir haben den Kreis auf den Sender abgestimmt — beide sind in Resonanz, schwingen im gleichen Rhythmus.

Eine Kompanie Soldaten marschiert über die breite, stählerne Brücke. Taktmäßig schlagen die schweren Stiefel auf die Fahrbahn; und nun beginnt die Brücke leise zu zittern, und das Zittern verstärkt sich. Ganz sachte beginnen die großen Träger zu schwingen; den Leuten macht es Spaß, mutwillig verstärken sie ihre Tritte,

— — · = g

Denken wir lieber an unseren Sender zurück, wie wir ihn vorher beschrieben hatten; und nun nehmen wir an, daß es dem Maschinisten zu langweilig wird; er beginnt, seinen Sendestrom in mutwilliger Weise zu unterbrechen, er spielt mit dem Tasthebel des Schalters, in wechselndem Takt, vielleicht so: Lang — lang — kurz. Und die Folge: keinen glatten, ununterbrochenen Wellenzug — nein, Wellenstöße sendet die Antenne jetzt aus. Wellengruppen — lang — lang — kurz. Ein alter Telegrafist, der dies Zeichen lang, lang, kurz hört, wird unwillkürlich „g" denken — denn es ist das Morsezeichen für den Buchstaben g. Da erkennen wir eine Möglichkeit für drahtlose Telegrafie.

Die zweite: Man verändert den Sendestrom in seiner Stärke periodisch. Bedenken wir — das Gitter steuert die Stromstärke. Führt man einen Wechselstrom auf das Gitter einer Elektronenröhre, so schwankt auch der Hauptstrom im Takt der Wechselspannung mit. Und wenn man z. B. in ein Mikrophon spricht und die Wechselströme des Mikrophons auf ein Gitter gibt, so schwankt die Hauptstromstärke im Rhythmus der Sprechschwingungen. Das heißt — auch die Energie, die die Antenne in den Raum strahlt, die Energie des Wellenfeldes, die Wellenhöhe also schwankt im Rhythmus der Sprechschwingungen. Und so sieht das Bild dieser Welle aus: Die hochfrequenten Wellen sind die Träger der Sprechwellen; man sagt, die Wellen sind moduliert worden. Das ist das Prinzip des Rundfunksenders.


Trägerwelle


Sprechstrom


Modulierte Welle

Man hat die Hypothese aufgestellt, daß die Schmetterlinge über ihre Fühler kurze elektrische Wellen ausstrahlen und empfangen, mit deren Hilfe sie sich verständigen (Fühler heißt auf französisch

Antenne). Wir sind keine Schmetterlinge. Wir merken nichts von den elektrischen Stürmen, die den Äther durchrasen, wenn wir uns nicht einen komplizierten Apparat dazu schaffen.

Zunächst spannen wir eine Antenne aus, in der alle die vielen vorüberjagenden Wechselfelder kleine Schwingungen erregen —

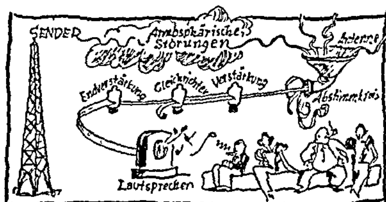


ob sie aus Berlin, London, von der Sonne oder dem nächsten Staubsauger herkommen. Der Schwingungszustand einer Antenne sieht verwirrend aus; aber sie läßt sich nicht stören und gibt die empfangenen Impulse getreulich weiter. Wohin? Auf einen Schwingungskreis natürlich. Denn nichts Materielles würde *es* fertigbringen, im rasenden Takt der Berliner Sendewellen *etwa*, also 841000*mal* in der Sekunde, mitzuschwingen; nur die Elektrizität *kann es*. Und wir drehen nun den Knopf des Drehkondensators im Radioapparat so lange, d. h. wir verändern die Eigenschwingung des Schwingungskreises so lange, bis sie auch 841 kHz beträgt. Wir haben den Kreis auf den Sender abgestimmt — beide sind in Resonanz, schwingen im gleichen Rhythmus.

Eine Kompanie Soldaten marschiert über die breite, stählerne Brücke. Taktmäßig schlagen die schweren Stiefel auf die Fahrbahn; und nun beginnt die Brücke leise zu zittern, und das Zittern verstärkt sich. Ganz sachte beginnen die großen Träger zu schwingen; den Leuten macht es Spaß, mutwillig verstärken sie ihre Tritte,

und immer fühlbarer wird das Mitschwingen der Brücke — es wächst an, wird unheimlich, die Lager stöhnen und ächzen. „Die Brücke", ruft einer entsetzt. Es ist zu spät — krachend reißen sich die Träger aus ihrer Verbindung — mit den Menschen stürzt das Eisen in den wirbelnden Strom.

Es ist Vorschrift, daß größere Menschenmengen eine Brücke nicht im Gleichschritt passieren dürfen — um diese Katastrophe



zu verhindern, die eben auch auf Resonanz beruht. Der Marschtakt der Leute fiel zufällig mit der Eigenschwingung der Brücke zusammen, und so kam jeder neue Schritt genau im richtigen Moment, um einen neuen Anstoß zu geben. So schaukelte die Brücke sich langsam hoch — bis zu zerstörender Wirkung.

Das Problem der Schwingungsbekämpfung ist entscheidend wichtig für unsere Technik geworden. Jeder weiß, wie z. B. beim Auto bei einer gewissen Drehzahl des Motors der ganze Wagen ins Klirren geraten kann — wenn eben gerade die Eigenschwingung getroffen wird, und wie dann später, bei höherer Tourenzahl, die Fahrt wieder ruhiger wird: Der kritische Drehzahlbereich ist dann vorüber. Stählerne Achsen können wie Glas brechen, ganze Gebäude mögen so zugrunde gehen. Die Technik bekämpft, wo sie kann, diesen Feind: Resonanz.

Der Rundfunk aber sucht die Resonanz auf — denn nur im Resonanzfall wird sich der Abstimmkreis auf eine merkliche Strom-

stärke hochschaukeln können. Auch die schon besprochene Rückkopplung ist ja eine Resonanzerscheinung.

Die von Berlin quer über den Raum hinweggestrahlte Welle hat der Abstimmkreis aufgenommen, und nun macht er alle Schicksale der Welle mit. Im Abstimmkreis und im letzten Senderkreis verlaufen die Vorgänge jetzt ganz gleichlaufend. Bedenken wir aber — die Senderschwingungen waren moduliert worden. Im Abstimmkreis pulst eine Schwingung von 841 kHz, deren Stärke im Rhythmus der Sprachschwingungen des Senders schwankt (Bild S. 128). Man kann durch eine Röhre in gewohnter Weise die Schwingungen des Abstimmkreises verstärken — aber man tut es nicht immer. Auf jeden Fall führt man die Schwingungen weiter.

Jetzt kommt der Trick: Diese modulierten Wellen schickt man in eine ‚Detektor- oder Gleichrichterröhre', die nur Strom in einer Richtung durchläßt. Sie schneidet eine Hälfte des Wechselstroms ab und läßt sie unter den Tisch fallen. Und so sieht die Welle aus, die diese Detektorröhre abgibt — ein pulsierender Gleichstrom. Nun, dieser Strom wird ein- oder zweimal weiter verstärkt, und schließlich ist er stark genug, die Membrane eines Lautsprechers zu beeinflussen. Die Membrane aber, dies träge Blechstück, merkt nichts von dem raschen Wechsel der hochfrequenten Welle, sie folgt nur den groben ausgeprägten Schwankungen: Der Lautsprecher schwingt im Rhythmus des Sprechstroms, des Mikrophons. Wir hören, was in Berlin gesungen wurde.



Gleichgerichtete Welle



Lautsprecherstrom

Ja so — die Chinesen! Die elektrischen Wellen, ob moduliert oder nicht, haben eine feststehende Reisegeschwindigkeit: 300000 km/sec. Sie legen den Weg von der deutschen Kurkapelle, die am Anfang dieses Kapitels spielte, bis nach China in weniger als $^1/_{30}$ Sekunde zurück, und auch die verwickelten Vorgänge im Sender

und immer fühlbarer wird das Mitschwingen der Brücke — es wächst an, wird unheimlich, die Lager stöhnen und ächzen. „Die Brücke", ruft einer entsetzt. Es ist zu spät — krachend reißen sich die Träger aus ihrer Verbindung — mit den Menschen stürzt das Eisen in den wirbelnden Strom.

Es ist Vorschrift, daß größere Menschenmengen eine Brücke nicht im Gleichschritt passieren dürfen — um diese Katastrophe



zu verhindern, die eben auch auf Resonanz beruht. Der Marschtakt der Leute fiel zufällig mit der Eigenschwingung der Brücke zusammen, und so kam jeder neue Schritt genau im richtigen Moment, um einen neuen Anstoß zu geben. So schaukelte die Brücke sich langsam hoch — bis zu zerstörender Wirkung.

Das Problem der Schwingungsbekämpfung ist entscheidend wichtig für unsere Technik geworden. Jeder weiß, wie z. B. beim Auto bei einer gewissen Drehzahl des Motors der ganze Wagen ins Klirren geraten kann — wenn eben gerade die Eigenschwingung getroffen wird, und wie dann später, bei höherer Tourenzahl, die Fahrt wieder ruhiger wird: Der kritische Drehzahlbereich ist dann vorüber. Stählerne Achsen können wie Glas brechen, ganze Gebäude mögen so zugrunde gehen. Die Technik bekämpft, wo sie kann, diesen Feind: Resonanz.

Der Rundfunk aber sucht die Resonanz auf — denn nur im Resonanzfall wird sich der Abstimmkreis auf eine merkliche Strom-

stärke hochschaukeln können. Auch die schon besprochene Rückkopplung ist ja eine Resonanzerscheinung.

Die von Berlin quer über den Raum hinweggestrahlte Welle hat der Abstimmkreis aufgenommen, und nun macht er alle Schicksale der Welle mit. Im Abstimmkreis und im letzten Senderkreis verlaufen die Vorgänge jetzt ganz gleichlaufend. Bedenken wir aber — die Senderschwingungen waren moduliert worden. Im Abstimmkreis pulst eine Schwingung von 841 kHz, deren Stärke im Rhythmus der Sprachschwingungen des Senders schwankt (Bild S. 128). Man kann durch eine Röhre in gewohnter Weise die Schwingungen des Abstimmkreises verstärken — aber man tut es nicht immer. Auf jeden Fall führt man die Schwingungen weiter.

Jetzt kommt der Trick: Diese modulierten Wellen schickt man in eine ‚Detektor- oder Gleichrichterröhre', die nur Strom in einer Richtung durchläßt. Sie schneidet eine Hälfte des Wechselstroms ab und läßt sie unter den Tisch fallen. Und so sieht die Welle aus, die diese Detektorröhre abgibt — ein pulsierender Gleichstrom. Nun, dieser Strom wird ein- oder zweimal weiter verstärkt, und schließlich ist er stark genug, die Membrane eines Lautsprechers zu beeinflussen. Die Membrane aber, dies träge Blechstück, merkt nichts von dem raschen Wechsel der hochfrequenten Welle, sie folgt nur den groben aufgeprägten Schwankungen: Der Lautsprecher schwingt im Rhythmus des Sprechstroms, des Mikrophons Wir hören, was in Berlin gesungen wurde.



Gleichgerichtete Welle



Lautsprecherstrom

Ja so — die Chinesen! Die elektrischen Wellen, ob moduliert oder nicht, haben eine feststehende Reisegeschwindigkeit: 300000 km/sec. Sie legen den Weg von der deutschen Kurkapelle, die am Anfang dieses Kapitels spielte, bis nach China in weniger als $^1/_{20}$ Sekunde zurück, und auch die verwickelten Vorgänge im Sender

— — deshalb früher

und Empfänger verlaufen fast momentan — eben wegen der geringen Trägheit der Elektrizität. Der Schall aber, mit seiner Geschwindigkeit von 330 m/sec, braucht 1/3 Sekunde von der Kapelle bis zur 100 m entfernten Bank, auf der die beiden Männer, der hagere und der dicke, noch immer stritten — er braucht mehr Zeit als die Radiowellen bis nach China!

Die Elektrische-Wellen-Familie

Im Funkturm war Hochbetrieb. Ein neuer Mann hatte die Erlaubnis erhalten, seine neuartige Senderöhre auszuprobieren, die nach seiner Behauptung beliebige Veränderung der Wellenlänge ermöglichte. Nun stand er vor der Schalttafel, eine rote Kontrolllampe blitzte auf und erlosch wieder, und mit einer raschen, energischen Bewegung legte er den Schalter um. Der Sender begann zu strahlen. Langsam, unmerklich drehte der neue Mann am Kondensator. Die Wellenlänge sinkt ... 575 m war sie anfangs. Jetzt sinkt sie auf 100 und auf 30 m, und die Kurzwellenamateure in Amerika merken auf. Ein neuer, ihnen unbekannter Kurzwellensender hat sich aufgetan. Aber der weißbekittelte Mann ist noch nicht zufrieden. 300000 kHz zeigt sein Frequenzmesser, über den er sich mit einem angespannten, seltsam horchenden Ausdruck beugt. 1 m Wellenlänge. Das haben die anderen auch schon gekonnt — aber nun greift seine neue Schaltung ein. Stetig und entschlossen dreht er an den Handrädern, an schwarzglänzenden Hartgummiknöpfen. 10 cm, 1 cm, 1 mm. Und weiter sinkt die Wellenlänge. Der grauhaarige Maschinenmeister faßt sich an den Kopf — fremd und überflüssig kommt er sich in den vertrauten Räumen vor. Mißmutig, beunruhigt schreitet er auf den Hof und wirft einen prüfenden Blick auf die Antenne. Ganz heiß wird ihm vor Ärger, und er wischt die Schweißtropfen von der Stirn. Aber nein — die Hitze weicht nicht. Es ist März, so warm kann es doch nicht sein — aber kein Zweifel ist möglich — von der Antenne strahlt eine unmögliche Hitze aus. „He", brüllt er hinauf, „aufhören! Ihr überdreht den Sender!" Aber der Ingenieur hinter der Fensterscheibe schüttelt nur stumm den Kopf. Ein zehntel Millimeter beträgt die Wellenlänge nur noch. Wärmestrahlen nennt man solche Strahlen

Nur ein winziger Ausschnitt — —



— unsere Hautnerven reagieren auf elektromagnetische Wellen dieser Länge. Die Wärmestrahlen sind elektrische Wellen von 100—1 μ (ein tausendstel Millimeter wird als μ bezeichnet). Ein Kachelofen ist ein elektrischer Sender! Und noch weiter dreht er — ein ganz klein wenig nur. Die Antenne beginnt zu glühen. Dunkelrot, kaum merklich — aber kein Zweifel. Zwischen 7 und 8 zehntausendstel Millimeter Wellenlänge werden die Wärmestrahlen allmählich sichtbar. 0,6 μ — ein leuchtendes, sattes rotes Licht strahlt die Antenne aus — ein gewaltiges Fanal flammt über der Stadt und übergießt die Häuser mit blutigem Schimmer. Der Funkturm leuchtet, und das Rot wird heller, wird zu Orange, Gelb und Grün, Blau, Violett und verschwindet wieder. 0,72 μ—0,397 μ hat der Mann an seinem Wellenlängenmesser abgelesen — elektrische Wellen zwischen diesen Grenzen können wir sehen, wir nennen sie Licht. Und geht es weiter hinunter, so kommt man zum ultravioletten Licht der Quecksilberlampe, zum Röntgenlicht schließlich — und wenn der Sender das ausstrahlen würde, wären auf einmal die Menschen der Umgebung durchstrahlt, und würde man sie fotografieren, in der Wochenschau etwa, so sähe man sie als wandelnde Skelette über die Straßen marschieren. Darüber geht es nicht viel weiter. Die γ-Strahlen kommen noch, die die radioaktiven Elemente aussenden, und die ‚Höhenstrahlung' macht den Schluß mit einer Wellenlänge unter 1 Billionstel Millimeter. Der Physiker schaltet aus.

Er hat die ganze Familie der elektromagnetischen Wellen vorüberziehen lassen. Sie alle waren wesensgleich — sie alle unterschieden sich nur durch die Wellenlänge. Und unser Auge ist nichts als ein Empfänger, so überlegt der Ingenieur. Ein Radioempfänger, auf den lächerlich kurzen Wellenlängenbereich von 0,7—0,4 μ beschränkt. Jeder Volksempfänger hat heutzutage schon eine größere Empfangsskala. Immerhin — es genügt uns. Aber doch, so denkt der Ingenieur — es ist schade, daß das Auge sich auf diesen kurzen Bereich beschränkt. Wieviel schneller wäre die Forschung vorangekommen, wieviel eher hätte sie die Wesensgleichheit von Licht und Elektromagnetismus erkannt, wieviele Umwege wären uns erspart geblieben. Aber plötzlich denkt er an seinen guten alten Bekannten, der ihn heute früh wieder einmal um 5 Mark anpumpen wollte. Ich habe sie selbst nicht, hatte er ihm gesagt. Aber hätte sein Freund Röntgen-Augen gehabt, er hätte die große runde Silberscheibe in der linken Hosentasche klar und deutlich gesehen. Nein, es war ganz gut, daß das menschliche Auge unterhalb 0,4 μ nichts mehr sehen konnte, dachte er sich.

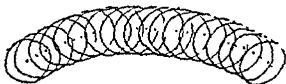
Leider gibt es diesen freundlichen Mann im weißen Kittel noch nicht. Unsere Radiosender kommen auch mit den raffiniertesten Schaltungen nicht unter Wellenlängen von einigen Zentimetern herunter. Aber Frau L. Arkadiewna hat tatsächlich schon durch kleine Funken von Metallsplitterchen in Petroleum elektrische Wellen erzeugt, die als Wärmewellen bezeichnet werden müssen, 0,2 mm lang, und so eine lange bestehende Lücke geschlossen. Und vielleicht — vielleicht wird dieser junge Mann, der sich jetzt mit einer ironischen Verbeugung zurückzieht und dem immer noch mißvergnügten Maschinenmeister Krause seinen Platz überläßt, einmal Wirklichkeit.

Wir wissen es heute: Licht ist eine elektromagnetische Schwingung, eine Schwingung des Äthers, eine Wellenbewegung, deren Wellenlänge zwischen 0,7 und 0,4 μ liegt. Aus der Elektrizitätslehre haben wir uns mit dem Äther, dem Sitz des elektromagnetischen Feldes, angefreundet.

Um 1650 aber, als Huygens zum erstenmal die Wellentheorie des Lichts entwickelte, wußte man noch nichts von einem elektrischen Feld; man wußte freilich schon damals, daß die Sonne scheint und das Licht aus dem Weltraum zu uns kommt. Irgendein Medium, in dem die Lichtwellen fortschreiten, einen Lichtäther also, der auch den leeren Raum noch erfüllt, mußte man unter allen Umständen voraussetzen.

Zweifellos ist das eine gedankliche Schwierigkeit; eine Schwierigkeit, die Newtons Lichttheorie vermeidet. Nach Newtons Auffassung schleudert ein leuchtender Körper kleine Lichtkörperchen aus — das Licht ist atomistischer Natur, ein Lichtstrahl besteht aus einem Strom daherflutender Lichtkörner, wie der elektrische Strom aus Elektronen; eine Auffassung, die bestechend genug ist, sich jedoch auf die Dauer nicht halten ließ. Wir wollen Huygens' Vorstellungen folgen.

Ein Stein fällt, den Frieden der spiegelglatten Wasserfläche des Teichs jäh unterbrechend, ins Wasser. Ein einzelner Punkt wird plötzlich aus seiner Ruhe aufgestört; und nun führt Huygens den Feldbegriff folgerichtig durch; ein Punkt wird gestört — und da er



nicht allein, nicht in „splendid isolation" im Raum existiert, sondern mit seinen Nachbar-Wasserteilchen auf Gedeih und Verderb verbunden ist, gibt er die Störung weiter. Wie ein Gerücht, eine Skandalnachricht von Mund zu Mund erzählt wird, wie jeder Bürger, empört über die Störung seiner Ruhe, sich die Nachricht von der Seele reden muß, um wieder seine Ruhe zu haben, und sie seinem ganzen Bekanntenkreis weitererzählt, so beginnt der Wasserpunkt, der von der Störung ergriffen wird, zu schwingen und so zum Ausgangspunkt einer kleinen Kreiswelle zu werden.

Alle diese neuen — sekundären — Wellenkreise setzen sich in ihrer Wirkung zusammen — sie erzeugen in der Gesamtheit die großen, immer weiter sich ausbreitenden Kreise, die über den ganzen Teich ziehen. Man sieht: Die **Nahewirkung!** Genau so erklärt Huygens die Lichtwellen: Jeder von der Lichterregung getroffene Punkt beginnt zu schwingen, wird zum Ausgangspunkt einer kleinen Kugelwelle, gibt seine Erregung an die Nachbarn weiter und kommt wieder zur Ruhe.

Eine geradlinige Wellenfront kommt zustande, wenn wir ein Lineal eintauchen, also viele Punkte gleichzeitig stören. Aber die geradlinige Welle können wir auch einfach als kleines Stück eines sehr großen Kreises auffassen. Die Friedrichstraße in Berlin nennen wir geradlinig — und dabei ist sie nur ein Teil eines großen Kreises um die Erde.

In langer, gerader Front rollen die Wellen des Ozeans gegen den Strand. In immer gleichem Takt, in gerader Front ziehen sie über das weite Blau des Meeres und verebben auf dem weißen Sand. So, geradlinig, in immer gleichem Takt zieht das Licht durch den Raum. Und nun wogen die Wasserwellen gegen eine Mole an, die eine Lücke aufweist; sie laufen ungehindert durch die Lücke hindurch — wir haben einen „Wellenstrahl"; seitlich davon aber ist das Wasser ruhig — es liegt im „Schatten der Mole".

Wir sehen: Lichtstrahlen gibt es eigentlich nicht; sie sind eine Erfindung der Theoretiker, eine Fiktion. Was es gibt — das sind mehr oder weniger schmale **Wellenbündel.** Wir wollen das in aller Schärfe betonen: Physikalisch wirklich sind allein die Wellenfronten, und daran wollen wir denken, wenn wir jetzt der Bequemlichkeit halber von Lichtstrahlen reden und darunter ein genügend dünnes Wellenbündel verstehen.

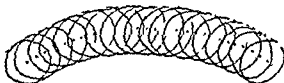


Die geradlinige Fortpflanzung des Lichts hat jeder schon beobachtet. Wenn die Sonne in ein raucherfülltes Zimmer

Um 1650 aber, als **Huygens** zum erstenmal die Wellentheorie des Lichts entwickelte, wußte man noch nichts von einem elektrischen Feld; man wußte freilich schon damals, daß die Sonne scheint und *das Licht aus dem Weltraum* zu uns kommt. Irgendein Medium, in dem die Lichtwellen fortschreiten, einen Lichtäther also, der auch den leeren Raum noch erfüllt, mußte man unter allen Umständen voraussetzen.

Zweifellos ist das eine gedankliche Schwierigkeit; eine Schwierigkeit, *die Newtons Lichttheorie vermeidet. Nach Newtons* Auffassung schleudert ein leuchtender Körper kleine Lichtkörperchen aus — das Licht ist atomistischer Natur, ein Lichtstrahl besteht aus einem Strom daherflutender Lichtkörner, wie der elektrische Strom aus Elektronen; eine Auffassung, die bestechend genug ist, sich jedoch auf die Dauer nicht halten ließ. Wir wollen Huygens' Vorstellungen folgen.

Ein Stein fällt, den Frieden der spiegelglatten Wasserfläche des Teichs jäh unterbrechend, ins Wasser. Ein einzelner Punkt wird plötzlich aus seiner Ruhe aufgestört; und nun führt Huygens den *Feldbegriff folgerichtig durch; ein Punkt wird gestört* — und da er



nicht allein, nicht in „splendid isolation" im Raum existiert, sondern mit seinen Nachbar-Wasserteilchen auf Gedeih und Verderb verbunden ist, gibt er die Störung weiter. Wie ein Gerücht, eine Skandalnachricht von Mund zu Mund erzählt wird, wie jeder Bürger, empört über die Störung seiner Ruhe, sich die Nachricht von der Seele reden muß, um wieder seine Ruhe zu haben, und sie seinem ganzen Bekanntenkreis weitererzählt, so beginnt der Wasserpunkt, der von der Störung ergriffen wird, zu schwingen und so zum Ausgangspunkt einer kleinen Kreiswelle zu werden.

Wand des Spiegels. Jeder, der einmal Ball gespielt hat, weiß, daß ein elastischer Ball symmetrisch reflektiert wird.

Die Wellentheorie erklärt auch, wieso zwei Menschen sich gleichzeitig in demselben Spiegel sehen können — wieso also in einem Spiegel viele Bilder auf einmal sein können. Vor Jahren einmal entbrannte allen Ernstes in einer Berliner Zeitschrift ein Streit, wo die Spiegelbilder blieben. Was ist nun wirklich im Spiegel, so wurde gefragt — mein Bild oder deins oder das des Zimmers oder alle zugleich?

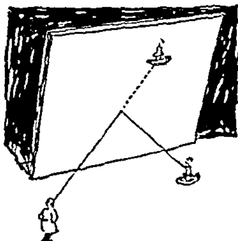
Die Leute, die diesen Streit hervorriefen, waren nicht nur physikalisch wenig bewandert — sie waren auch ein wenig denkfaul und klebten zu sehr an der primitiven Vorstellung. Man kann in einer Waschschüssel Kräuselwellen erzeugen; und man wird sehen, wie sie an den Rändern reflektiert werden und zurückkehren; man wird aber auch sehen, daß mehrere Wellenzüge kreuz und quer durcheinander laufen können, ohne sich im mindesten zu stören. Ebenso ergeht es den Lichtwellen. Zwei Lichtstrahlen können sich schneiden und durchsetzen, ohne daß sie dabei aus der Ordnung gebracht werden. Wenn wir etwa den grünen und roten Strahl zweier Scheinwerfer kreuzen, so laufen die beiden Strahlen durcheinander, und nachher ist der erste genau so rot wie vorher und hat keine Spur Grün angenommen. Licht färbt nicht ab!

So steht es mit den Spiegelbildern. Gewiß treibt sich im Spiegel eine ungeheure Vielfalt von Lichtstrahlen zu gleicher Zeit herum; aber so ist es in der ganzen Welt, und wenn ich bloß quer über die Straße zum Wochenmarkt blicke, so wird diese Raumspanne gleichzeitig von so vielen und so verschiedenartigen Lichtwellen durchjagt, daß es unmöglich ist, sich auch nur eine Vorstellung von dem Ätherzustand an dieser Stelle zu machen. Er gleicht einem Weltmeer, auf das von allen Seiten gleichzeitig Taifune einstürzen. Aber wie gesagt — Wellen und Licht färben nicht ab, und jeder einzelne Lichtstrahl kommt heil und unbeschädigt wieder heraus. Man kann sich zu der Frage versucht fühlen, warum wir nichts von

bricht, sieht man die geraden, breiten Lichtstreifen, in denen die Rauch- und Staubteilchen tanzen. Wenn die Sonne durch Löcher in der Wolkendecke scheint, sieht man, wie das Licht in geraden, scharf begrenzten Bündeln zur Erde niederflutet. Seit frühester Kindheit wissen wir, daß das Licht sich in gerader Linie fortbewegt. Wir haben uns so daran gewöhnt, daß ein Mensch, den wir vor uns sehen, auch wirklich dort ist und nicht etwa rechts neben uns steht, daß sogar wir aufgeklärten Mitteleuropäer — von den Negern in Afrika ganz zu schweigen — zunächst böse hereinfallen würden, wenn irgendein Zauberer das änderte.

Spiegelbilder

Der Zauberer ist allerdings leicht herbeizuschaffen. Er nemt sich Spiegel. Der Spiegel lenkt die Lichtstrahlen aus ihrer Richtung ab. Wenn er klar genug ist, glaubt jeder, daß der Freund — das Spiegelbild — wirklich hinter dem Spiegel steht. Wir suchen ihn gerade vor uns, in der Richtung, aus der die Lichtstrahlen kommen. Und der mißtrauische Wilde geht erst einmal oder ein paarmal um den Spiegel herum, bevor er sich überzeugen läßt, daß wirklich niemand dahinter steht. Mit Huyghens' Wellen-Vorstellung lassen sich die Spiegelgesetze sehr rasch ableiten — also die bekannten Gesetze, daß Einfallwinkel und Ausfallwinkel gleich sind.



Noch einfacher konnte übrigens Newton die Reflexion erklären. Spiegelung heißt Zurückprallen der Lichtpartikel von der starren

Wand des Spiegels. Jeder, der einmal Ball gespielt hat, weiß, daß ein elastischer Ball symmetrisch reflektiert wird.

Die Wellentheorie erklärt auch, wieso zwei Menschen sich gleichzeitig in demselben Spiegel sehen können — wieso also in einem Spiegel viele Bilder auf einmal sein können. Vor Jahren einmal entbrannte allen Ernstes in einer Berliner Zeitschrift ein Streit, wo die Spiegelbilder blieben. Was ist nun wirklich im Spiegel, so wurde gefragt — mein Bild oder deins oder das des Zimmers oder alle zugleich?

Die Leute, die diesen Streit hervorriefen, waren nicht nur physikalisch wenig bewandert — sie waren auch ein wenig denkfaul und liebten zu sehr an der primitiven Vorstellung. Man kann in einer Waschschüssel Kräuselwellen erzeugen; und man wird sehen, wie sie an den Rändern reflektiert werden und zurückkehren; man wird aber auch sehen, daß mehrere Wellenzüge kreuz und quer durcheinander laufen können, ohne sich im mindesten zu stören. Ebenso ergeht es den Lichtwellen. Zwei Lichtstrahlen können sich schneiden und durchsetzen, ohne daß sie dabei aus der Ordnung gebracht werden. Wenn wir etwa den grünen und roten Strahl zweier Scheinwerfer kreuzen, so laufen die beiden Strahlen durcheinander, und nachher ist der erste genau so rot wie vorher und hat keine Spur Grün angenommen. Licht färbt nicht ab!

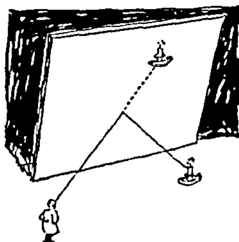
So steht es mit den Spiegelbildern. Gewiß treibt sich im Spiegel eine ungeheure Vielfalt von Lichtstrahlen zu gleicher Zeit herum; aber so ist es in der ganzen Welt, und wenn ich bloß quer über die Straße zum Wochenmarkt blicke, so wird diese Raumspanne gleichzeitig von so vielen und so verschiedenartigen Lichtwellen durchjagt, daß es unmöglich ist, sich auch nur eine Vorstellung von dem Ätherzustand an dieser Stelle zu machen. Er gleicht einem Weltmeer, auf das von allen Seiten gleichzeitig Taifune einstürzen. Aber wie gesagt — Wellen und Licht färben nicht ab, und jeder einzelne Lichtstrahl kommt heil und unbeschädigt wieder heraus.

Man kann sich zu der Frage versucht fühlen, warum wir nichts von

bricht, sieht man die geraden, breiten Lichtstreifen, in denen die Rauch- und Staubteilchen tanzen. Wenn die Sonne durch Löcher in der Wolkendecke scheint, sieht man, wie das Licht in geraden, scharf begrenzten Bündeln zur Erde niederflutet. Seit frühester Kindheit wissen wir, daß das Licht sich in gerader Linie fortbewegt. Wir haben uns so daran gewöhnt, daß ein Mensch, den wir vor uns sehen, auch wirklich dort ist und nicht etwa rechts neben uns steht, daß sogar wir aufgeklärten Mitteleuropäer — von den Negern in Afrika ganz zu schweigen — zunächst böse hereinfallen würden, wenn irgendein Zauberer das änderte.

Spiegelbilder

Der Zauberer ist allerdings leicht herbeizuschaffen. Er nennt sich Spiegel. Der Spiegel lenkt die Lichtstrahlen aus ihrer Richtung ab. Wenn er klar genug ist, glaubt jeder, daß der Freund — das Spiegelbild — wirklich hinter dem Spiegel steht. Wir suchen ihn gerade vor uns, in der Richtung, aus der die Lichtstrahlen kommen. Und der mißtrauische Wilde geht erst einmal oder ein paarmal um den Spiegel herum, bevor er sich überzeugen läßt, daß wirklich niemand dahinter steht.



Mit Huyghens' Wellen-Vorstellung lassen sich die Spiegelgesetze sehr rasch ableiten — also die bekannten Gesetze, daß Einfallwinkel und Ausfallwinkel gleich sind.

Noch einfacher konnte übrigens Newton die Reflexion erklären. Spiegelung heißt Zurückprallen der Lichtpartikel von der starren

Wand des Spiegels. Jeder, der einmal Ball gespielt hat, weiß, daß ein elastischer Ball symmetrisch reflektiert wird.

Die Wellentheorie erklärt auch, wieso zwei Menschen sich gleichzeitig in demselben Spiegel sehen können — wieso also in einem Spiegel viele Bilder auf einmal sein können. Vor Jahren einmal entbrannte allen Ernstes in einer Berliner Zeitschrift ein Streit, wo die Spiegelbilder blieben. Was ist nun wirklich im Spiegel, so wurde gefragt — mein Bild oder deins oder das des Zimmers oder alle zugleich?

Die Leute, die diesen Streit hervorriefen, waren nicht nur physikalisch wenig bewandert — sie waren auch ein wenig denkfaul und klebten zu sehr an der primitiven Vorstellung. Man kann in einer Waschschüssel Kräuselwellen erzeugen; und man wird sehen, wie sie an den Rändern reflektiert werden und zurückkehren; man wird aber auch sehen, daß mehrere Wellenzüge kreuz und quer durcheinander laufen können, ohne sich im mindesten zu stören. Ebenso ergeht es den Lichtwellen. Zwei Lichtstrahlen können sich schneiden und durchsetzen, ohne daß sie dabei aus der Ordnung gebracht werden. Wenn wir etwa den grünen und roten Strahl zweier Scheinwerfer kreuzen, so laufen die beiden Strahlen durcheinander, und nachher ist der erste genau so rot wie vorher und hat keine Spur Grün angenommen. Licht färbt nicht ab!

So steht es mit den Spiegelbildern. Gewiß treibt sich im Spiegel eine ungeheure Vielfalt von Lichtstrahlen zu gleicher Zeit herum; aber so ist es in der ganzen Welt, und wenn ich bloß quer über die Straße zum Wochenmarkt blicke, so wird diese Raumspanne gleichzeitig von so vielen und so verschiedenartigen Lichtwellen durchjagt, daß es unmöglich ist, sich auch nur eine Vorstellung von dem Ätherzustand an dieser Stelle zu machen. Er gleicht einem Weltmeer, auf das von allen Seiten gleichzeitig Taifune einstürzen. Aber wie gesagt — Wellen und Licht färben nicht ab, und jeder einzelne Lichtstrahl kommt heil und unbeschädigt wieder heraus. Man kann sich zu der Frage versucht fühlen, warum wir nichts von

dieser Fülle bemerken, wieso wir bei diesen anarchischen Zuständen im Äther dennoch ein klares Bild bekommen. (Und so etwas hat wohl auch bei dem Spiegel-Streit zugrunde gelegen.) Die Antwort ist leicht: Wir sehen eben nur die Lichtstrahlen, die in unser Auge fallen — alle anderen existieren für uns nicht. Niemals können Sie und ich denselben Lichtstrahl sehen!

Warum spiegelt eigentlich eine rauhe Fläche, ein wolliger Teppich oder eine Holzplatte das Licht nicht? Nun, sie reflektieren das Licht schon und werfen es in unser Auge; sonst könnten wir sie nicht sehen. Aber sie reflektieren nach allen Richtungen; sie führen zu einer verschwommenen, zerstreuten, ‚diffusen' Reflexion. Ist das keine Verletzung des Spiegelgesetzes?

Selbstverständlich erfolgt eine Reflexion immer symmetrisch. Es gibt keine Ausnahme von diesem Gesetz. Aber eine Holzplatte, eine Tapete, ein Teppich ist ja nicht eben, im optischen Sinne. Wie die Oberfläche der Erde, so sind auch ihre Oberflächen von tausend Tälern, Gebirgen und Falten durchfurcht. Gebirge, die „klein" sind für unsere Maßstäbe, aber riesig im Vergleich zu den wenigen zehntausendstel Millimetern einer Lichtwelle. Von einem breiten Lichtbündel trifft also jeder Teil auf eine verschieden geneigte Stelle der Tischplatte und wird entsprechend von ihr irgendwohin reflektiert — freilich immer streng nach dem Reflexionsgesetz!

Bei der spiegelnden Reflexion bleibt das Lichtbündel nach der Umkehr genau so straff zusammen wie vorher. Es gleicht einer Marschkolonne Soldaten oder Matrosen, die in straffer Ordnung durch die Hauptstraßen einer Stadt marschieren. Wer nicht gerade ihren Weg kreuzt, bemerkt nichts von ihnen. Durch die diffuse Reflexion wird die Disziplin aufgelockert. Die Tischplatte, wie gesagt, gibt das Kommando: Weggetreten! und die streng formierte Schar der Soldaten löst sich auf und verstreut sich über die ganze Stadt — die erst jetzt ihre Anwesenheit wirklich zu spüren beginnt. Glättet man den Tisch, reibt ihn schön eben und füllt dann

alle Unebenheiten noch mit einer glatten Schicht Wachspolitur, so erstrahlt er in spiegelndem Glanz — er reflektiert nun, als ,optisch eben', wirklich wie eine Glasplatte.

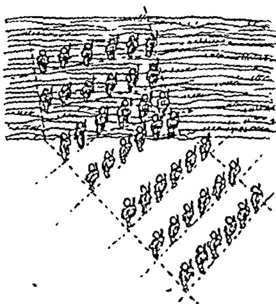
Wir aber wollen das Polieren den Tischlern überlassen und uns freuen, daß es so wenig spiegelnde Gegenstände in der Welt gibt. Ohne diffuse Reflexion wäre die Welt trist, traurig und farblos und leer. Wir würden nichts mehr sehen! Denn — einen Spiegel sehen wir ja nicht! Wir sehen in ihm, durch seine Vermittlung die ,Lichtquelle', den Begriff genügend weit gefaßt, also z. B. den Freund oder den neuen Hut. Es gibt für feinste optische Versuche besonders sorgfältige Spiegel oder Prismen aus ausgesuchtem, völlig fehlerfreiem Glas, das monate- und jahrelang gekühlt wird, damit keine Spannungen auftreten. Solches Glas ist optisch leer — also farblos und unsichtbar. Und in einer spiegelnden Welt würden wir zwischen absoluter Blendung und kohlpechrabenschwarzer Nacht hin und her taumeln — und allenfalls einmal die Sonne oder Sterne oder Lampen — die einzigen primären Lichtquellen, die es gibt — sehen. Es wäre nicht zum Aushalten, es wäre kein Leben.

Brechung



Die Reflexion war das erste sonderbare Erlebnis, das einem Lichtstrahl auf seiner Reise durch die Welt begegnen kann. Nun aber kommt das zweite: die Brechung (oder Refraktion). Ein Stab, ein Bleistift, der zum Teil ins Wasser gehalten wird, erscheint geknickt — das Licht, so werden wir schließen, kommt also nicht ungestört aus dem Wasser in die Luft, es stößt ihm etwas zu. Daß das an der Grenze beider Stoffe geschieht, wird den modernen Menschen nicht wundern. Die Grenze ist immer etwas Sonderbares, etwas Unstetiges — in der Physik wie im Leben. Wir holen unsere Soldatenkolonne wieder hervor, lassen sie antreten und in sauber ausgerichteter

Reihe schräg über eine Wiese auf einen Sturzacker marschieren. Im Acker marschiert man langsamer als auf der Wiese — so bleibt der rechte Flügelmann zuerst, dann seine Nebenleute nacheinander etwas zurück — und schließlich hat sich die Marschrichtung verschoben. Sie hat an der Grenze einen Knick erlitten. Deshalb sehen wir den Bleistift geknickt. Unser Auge betrügt uns — es behauptet wieder, in gerader Richtung etwas zu sehen, was dort gar nicht vorhanden ist. Das Auge ist ein Gewohnheitstier. Hätten wir in unserem Leben mehr mit brechenden Flächen zu tun, wir würden dieser Täuschung wahrscheinlich nicht unterliegen. Ein Mensch, der von Kindheit an immer wieder geknickte Bleistifte vorgeführt bekäme und sich sogleich durch den Tastsinn vom Gegenteil überzeugen könnte, würde wohl schließlich den Bleistift als gerade ansehen. Er hätte eine andere Welt. Um es noch einmal zu sagen: Licht wird beim Übergang von einem dünneren zu einem dichteren Medium ‚gebrochen', abgelenkt, und zwar zum ‚Einfallslot' hin. Je stärker der Knick — desto größer war das ‚Brechungsvermögen', der ‚Brechungsindex' der Substanz.



Der Ausdruck ‚dichter' ist noch zu erklären. Er bedeutet natürlich ‚optisch dichter', für das Licht dichter. Leichte, also in gewöhnlichem Sinn weniger dichte Substanzen können sehr wohl optisch äußerst dicht sein, ein großes Brechungsvermögen haben. Und zwei Stoffe gleichen Brechungsvermögens können wir optisch nicht unterscheiden. Wirft man einen

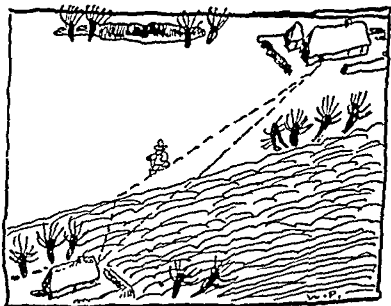
Diamanten in eine Schwefelkohlenstoff-Lösung, so verschwindet er — er wird unsichtbar. Beide Stoffe haben den gleichen Brechungsindex. Aber eben haben wir etwas behauptet, was wir nicht mit gutem Gewissen vertreten können. Wir haben die Absorption vergessen. Alle Stoffe verschlucken — ‚absorbieren' — etwas Licht; manche mehr, manche weniger. Je größer der ‚Absorptionskoeffizient', desto größer der Prozentsatz des absorbierten Lichts; das müssen wir berücksichtigen. Ein Mensch, dem es gelänge, den gleichen Brechungsindex und denselben Absorptionskoeffizienten wie Luft anzunehmen, wäre unsichtbar — aber wenn er ein Bad nähme, könnte man ihn im Wasser sofort entdecken.

Wir wollen das Soldatenspiel ausquetschen wie eine Zitrone, bis wir auch den letzten Tropfen physikalischer Erkenntnis aus ihm herausgepreßt haben — nämlich dies: Im Sturzacker läuft man langsamer als auf der Wiese. In einem Stoff mit größerem Brechungsindex läuft das Licht langsamer; der Brechungsindex ist nichts als das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeiten in den beiden aneinandergrenzenden Stoffen. Die Verlangsamung kommt daher, daß das Licht im dichteren Medium kürzere Schritte nimmt, daß seine Wellenlänge verkürzt wird; nicht etwa daher, daß es langsamer schwingt (Siehe S. 111, Welle). Und wir erkennen: Die Frequenz des Lichts, seine Schwingungszahl, bleibt während seines ganzen Lebens gleich; sie wird wesentlicher und charakteristischer sein als seine Wellenlänge; sie ist eine tiefergehende Eigenschaft; aus historischen Gründen ist leider Gottes immer die Wellenlänge in den Vordergrund gestellt worden. Wir wollen daran denken, wenn wir in Zukunft das Wort „Wellenlänge" hören.

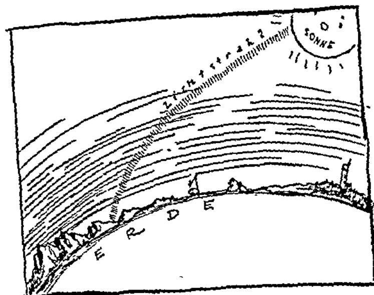
Zeit ist Geld

Es gibt ein allgemeines Prinzip, sozusagen einen kategorischen Imperativ für das Licht; Fermat hat es im 17. Jahrhundert aufgefunden, das „Prinzip vom eiligen Lichtstrahl". Es heißt: Laufe

so, daß du zu jedem Unternehmen die denkbar kürzeste Zeit brauchst. Aus diesem Prinzip läßt sich die Brechung des Lichts mit Leichtigkeit erklären. Ein Mensch, der rasch von einer Wiese zu einem Punkt im Acker laufen muß, geht möglichst lange Zeit über die Wiese und bloß ein kurzes Stück über den Acker; und so wird der Weg, der ihn am schnellsten zum Ziel führt, eine gebrochene Linie sein. Es ist zweifelhaft, wieviel Verstand ein gewöhnlicher Lichtstrahl besitzt,



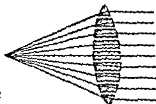
wieviel er vom kategorischen Imperativ begreift. Aber er braucht über dies Prinzip auch nicht weiter nachzudenken; das Prinzip ist eine Selbstverständlichkeit. Ein Lichtstrahl kommt von der Sonne auf die Erde und durchsetzt die Atmosphäre. Weil aber die Luft nach unten zu d i c h t e r wird, ihr Brechungsvermögen steigt, läuft das Licht dort langsamer; der obere Teil jeder Wellenfront überholt den unteren: der Lichtstrahl krümmt sich nach unten. Er kann nicht anders; vergessen wir nicht, daß es keine Lichtstrahlen gibt, sondern nur mehr oder weniger schmale Wellenbündel. Aber es sieht so aus, als wäre der Lichtstrahl, Fermats kategorischem Imperativ folgend, so lange wie möglich in den höchsten Luftschichten geblieben, wo er



rascher vorankommt. Soviel über das Prinzip vom eiligen Licht — das also eine Folge der Wellentheorie ist. Es reicht, wie gesagt, um alle Erscheinungen der Optik zu erklären — z. B. auch die Spiegelung; es wird uns später noch einmal zu ganz überraschenden Erkenntnissen verhelfen.

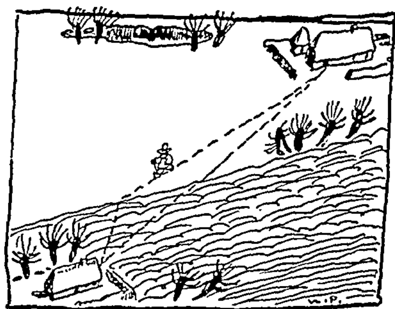
Etwas Praxis nach soviel Theorie: Die Linsen

So, wie es die erste Skizze zeigt, arbeitet eine Linse — es braucht kein Wort weiter. Sie vereinigt parallele Lichtstrahlen in einem Punkt, den Brennpunkt. Man nennt sie eine Sammellinse, „bikonvex", weil sie zwei konvexe Flächen hat.



Liest man das Bild von links nach rechts, so sieht man: Das Licht, das von einem leuchtenden Punkt im Brennpunkt der Sammellinse ausgeht, wird durch die Linse parallel gemacht.

so, daß du zu jedem Unternehmen die denkbar kürzeste Zeit brauchst. Aus diesem Prinzip läßt sich die Brechung des Lichts mit Leichtigkeit erklären. Ein Mensch, der rasch von einer Wiese zu einem Punkt im Acker laufen muß, geht möglichst lange Zeit über die Wiese und bloß ein kurzes Stück über den Acker; und so wird der Weg, der ihn am schnellsten zum Ziel führt, eine gebrochene Linie sein. Es ist zweifelhaft, wieviel Verstand ein gewöhnlicher Lichtstrahl besitzt,



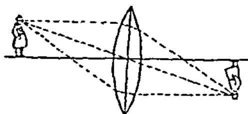
wieviel er vom kategorischen Imperativ begreift. Aber er braucht über dies Prinzip auch nicht weiter nachzudenken; das Prinzip ist eine Selbstverständlichkeit. Ein Lichtstrahl kommt von der Sonne auf die Erde und durchsetzt die Atmosphäre. Weil aber die Luft nach unten zu d i c h t e r wird, ihr Brechungsvermögen steigt, läuft das Licht dort langsamer; der obere Teil jeder Wellenfront überholt den unteren: der Lichtstrahl krümmt sich nach unten. Er kann nicht anders; vergessen wir nicht, daß es keine Lichtstrahlen gibt, sondern nur mehr oder weniger schmale Wellenbündel. Aber es sieht so aus, als wäre der Lichtstrahl, Fermats kategorischem Imperativ folgend, so lange wie möglich in den höchsten Luftschichten geblieben, wo er

Die vielen optischen Instrumente beruhen alle auf diesen Prinzipien — das Fernrohr zum Beispiel entwirft mit einer großen Sammellinse, dem Objektiv, ein umgekehrtes kleines Bild der Ferne, das man dann zur Vergrößerung mit der Lupe betrachtet. Der Prismenfeldstecher macht es genau so, nur kehrt er das Bild durch zwei Prismen noch vorher um, so daß es nachher aufrecht steht. Aber selbstverständlich ist dies nur ein stark vereinfachter Abriß der Optik.

In schlechten Fernrohren sieht man alles mit einem farbenprächtigen, leuchtend blauen und roten Saum umgeben. Das ist der ‚Farbfehler', der chromatische Fehler der Linsen — er kommt daher, daß die Linse blaues Licht etwas anders behandelt als rotes. Man verbessert das, wenn man statt einer Linse zwei Linsen aus verschiedenem Glas zusammenkittet, so daß zusammen noch eine Sammelwirkung resultiert, die zweite aber die Farbenzerstreuung der *ersten* rückgängig macht. Das ist ein ‚achromatisches Objektiv' aber damit ist nur die Beseitigung des chromatischen Fehlers gelungen.

Es gibt noch andere Fehler — die Fotografen wissen es genau. Eine gewöhnliche Linse zeichnet nicht genau; das Bild, das sie von einem Punkt liefert, ist ein kleiner Strich. (Sie arbeitet „*nicht punktförmig*" — *a-stigmatisch*.) *Die Linse tut, sozusagen, aus* eigenem etwas hinzu, sie verzerrt, wie ein schlechter Lautsprecher die Musik verzerrt. Der Fehler wird um so schwerwiegender, je größer die Linsen sind — je mehr sie bis an den Rand von Licht ausgefüllt werden sollen.

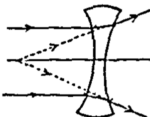
Nun beginnt die Arbeit des Theoretikers. Es *heißt, Linsensysteme* berechnen, ganze Sätze von Linsen, die ihre Fehler gegenseitig ausgleichen; sie müssen an-astigmatisch sein, also doch punktförmig abbilden. Sie müssen das Bild bis zum Rand scharf zeichnen — und sie sollen dazu möglichst viel Licht durchlassen, eine möglichst große ‚Öffnung' haben. Schließlich aber sollen sie nicht zu teuer sein — man wird versuchen, mit möglichst wenig Linsen



Das nächste Bild hier zeigt, wie eine Sammellinse von einem Gegenstand, der nicht unendlich weit fort ist, ein **Bild** entwirft — wie sich die Lichtstrahlen, die von einem Menschen ausgehen, hinter der Linse wieder vereinigen. Sicher, die Linse weiß nicht, daß der Mensch vor ihr eine untrennbare Einheit bildet; sie macht Einzelbilder, sie sammelt die Lichtstrahlen von jedem Punkt, von Kopf und Brust und Füßen, und vereinigt sie in einer Ebene, der ‚Bildebene'. Nur ihrer regelmäßigen Form hat sie es zu verdanken, daß alle Bildpunkte in derselben Ebene und in der richtigen Anordnung entstehen. Sie entwirft ein Bild, ein wirkliches, ‚reelles' Bild, man kann es ja auf der Mattscheibe des Fotoapparates auffangen. Je näher der Mensch an die Linse heranrückt, desto weiter rückt das Bild von ihr ab, und es wird immer größer — desto weiter müssen wir die Mattscheibe von der Linse fortschrauben.

Sammellinsen sind ehrlich. Nun kommen die Schwindler — die Zerstreuungslinsen. Hier ist eine ‚bikonkave' zu sehen, wie sie die Lichtstrahlen in der Welt verstreut. Unser Auge läßt sich willig täuschen, naiv-kindergläubig schwört es auf die geradlinige Fortpflanzung des Lichts und verlängert im Geist die Lichtstrahlen. Es denkt sich ein Bild, ‚virtuell', möglich nennen wir es, ein Bild, das gar nicht existiert, das man also nicht mit einer Mattscheibe auffangen kann — aber das genau dieselben Lichtstrahlen aussenden würde, wie sie die Linse erzwingt.

Auch eine Sammellinse kann ein virtuelles Bild erzeugen — wenn man mit dem Gegenstand näher an die Linse herangeht, als ihre Brennweite beträgt. Dann entstehen auseinander strebende Strahlen, die vom Auge wieder als Strahlen eines virtuellen Bildes gedeutet werden. So arbeitet die Lupe.



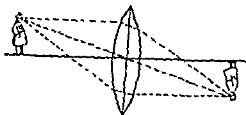
Die vielen optischen Instrumente beruhen alle auf diesen Prinzipien — das Fernrohr zum Beispiel entwirft mit einer großen Sammellinse, dem Objektiv, ein umgekehrtes kleines Bild der Ferne, das man dann zur Vergrößerung mit der Lupe betrachtet. Der Prismenfeldstecher macht es genau so, nur kehrt er das Bild durch zwei Prismen noch vorher um, so daß es nachher aufrecht steht. Aber selbstverständlich ist dies nur ein stark vereinfachter Abriß der Optik.

In schlechten Fernrohren sieht man alles mit einem farbenprächtigen, leuchtend blauen und roten Saum umgeben. Das ist der ‚Farbfehler', der chromatische Fehler der Linsen — er kommt daher, daß die Linse blaues Licht etwas anders behandelt als rotes. Man verbessert das, wenn man statt einer Linse zwei Linsen aus verschiedenem Glas zusammenkittet, so daß zusammen noch eine Sammelwirkung resultiert, die zweite aber die Farbenzerstreuung der ersten rückgängig macht. Das ist ein ‚achromatisches Objektiv' aber damit ist nur die Beseitigung des chromatischen Fehlers gelungen.

Es gibt noch andere Fehler — die Fotografen wissen es genau. Eine gewöhnliche Linse zeichnet nicht genau; das Bild, das sie von einem Punkt liefert, ist ein kleiner Strich. (Sie arbeitet „nicht punktförmig" — a-stigmatisch.) Die Linse tut, sozusagen, aus eigenem etwas hinzu, sie verzerrt, wie ein schlechter Lautsprecher die Musik verzerrt. Der Fehler wird um so schwerwiegender, je größer die Linsen sind — je mehr sie bis an den Rand von *Licht* ausgefüllt werden sollen.

Nun beginnt die Arbeit des Theoretikers. Es heißt, Linsen*systeme* berechnen, ganze Sätze von Linsen, die ihre Fehler gegenseitig ausgleichen; sie müssen an-astigmatisch sein, also doch punktförmig abbilden. Sie müssen das Bild bis zum Rand *scharf* zeichnen — und sie sollen dazu möglichst viel Licht durchlassen, eine möglichst große ‚Öffnung' haben. Schließlich aber sollen sie nicht zu teuer sein — man wird versuchen, mit möglichst wenig Linsen

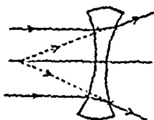
Wirkliche und unwirkliche Bilder



Das nächste Bild hier zeigt, wie eine Sammellinse von einem Gegenstand, der nicht unendlich weit fort ist, ein Bild entwirft — wie sich die Lichtstrahlen, die von einem Menschen ausgehen, hinter der Linse wieder vereinigen. Sicher, die Linse weiß nicht, daß der Mensch vor ihr eine untrennbare Einheit bildet; sie macht Einzelbilder, sie sammelt die Lichtstrahlen von jedem Punkt, von Kopf und Brust und Füßen, und vereinigt sie in einer Ebene, der ‚Bildebene'. Nur ihrer regelmäßigen Form hat sie es zu verdanken, daß alle Bildpunkte in derselben Ebene und in der richtigen Anordnung entstehen. Sie entwirft ein Bild, ein wirkliches, ‚reelles' Bild, man kann es ja auf der Mattscheibe des Fotoapparates auffangen. Je näher der Mensch an die Linse heranrückt, desto weiter rückt das Bild von ihr ab, und es wird immer größer — desto weiter müssen wir die Mattscheibe von der Linse fortschrauben.

Sammellinsen sind ehrlich. Nun kommen die Schwindler — die Zerstreuungslinsen. Hier ist eine ‚bikonkave' zu sehen, wie sie die Lichtstrahlen in der Welt verstreut. Unser Auge läßt sich willig täuschen, naiv-kindergläubig schwört es auf die geradlinige Fortpflanzung des Lichts und verlängert im Geist die Lichtstrahlen. Es denkt sich ein Bild, ‚virtuell', möglich nennen wir es, ein Bild, das gar nicht existiert, das man also nicht mit einer Mattscheibe auffangen kann — aber das genau dieselben Lichtstrahlen aussenden würde, wie sie die Linse erzwingt.

Auch eine Sammellinse kann ein virtuelles Bild erzeugen — wenn man mit dem Gegenstand näher an die Linse herangeht, als ihre Brennweite beträgt. Dann entstehen auseinander strebende Strahlen, die vom Auge wieder als Strahlen eines virtuellen Bildes gedeutet werden. So arbeitet die Lupe.



zu sagen, was damit gemeint sein könnte. Bei der Fragestellung liegt ein Denkfehler vor; man tut so, als hätte das Gehirn wieder ein paar Augen, mit denen es nun seinerseits das kleine Bild auf der Netzhaut betrachtet.

Wie groß übrigens die Fähigkeit des Gehirns zur Umstellung ist, beweist ein Versuch eines amerikanischen Psychologen, der sich eine Brille mit einem Umkehrprisma auf die Nase setzte, die ihm nun wirklich eine auf dem Kopf stehende Welt zeigte — weil sie das langjährige Zusammenwirken der Sinne störte. Zuerst war das Gehirn verblüfft über das fremdartige Weltbild. Jeder Schritt, jeder Handgriff erforderte Überlegung, Gedankenarbeit. Aber nach ein paar Tagen hatte sich das Gehirn umgestellt, und der Mann erblickte nichts Außergewöhnliches mehr in der Welt — sie erschien ihm „aufrecht"! Und wenn er von Geburt an eine Brille getragen hätte, so hätte er nie daran gedacht, daß sein Weltbild ungewöhnlich sein könnte. Als er aber die Brille wieder abnahm — o weh, wer beschreibt sein Erstaunen? Wieder mußte er ein paar Tage umlernen, fallen, sich stoßen, bis sein Gehirn sich wieder an den brillenlosen Zustand gewöhnt hatte!

Farben

In England gibt es den seltsamen Beruf der Teeschmecker. Das sind Leute mit so hochentwickelter Geschmacksfähigkeit, daß sie aus einer Teemischung ohne weiteres die einzelnen Teesorten herausschmecken. Die Teeschmecker der Optik heißen Spektroskopiker. Sie finden heraus, welche Wellenlängen, welche Lichtsorten in einem Lichtstrahl vorhanden sind. Ihr Ahnherr ist Newton — er untersuchte das Sonnenlicht.

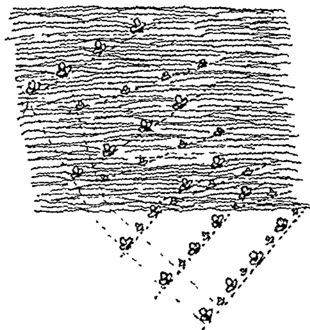
Sonnenlicht ist weiß — ist es nicht einfach? Wie kann Weiß, die einfachste Farbe, noch zusammengesetzt sein? Aber Newton hielt ein Prisma, ein dreikantiges Glasstück, in den Lauf der Sonnenstrahlen — und er sah zu seinem Erstaunen, daß sich das

auszukommen. Die Berechnung der Linsenform ist eine verteufelt schwierige Kunst, und es sind immer wieder dieselben Leute mit großer Erfahrung auf diesem Spezialgebiet, die sich damit befassen. Genau nach der berechneten Form müssen die Linsen dann geschliffen werden — eine Arbeit, die ebenfalls lebenslange Erfahrung braucht, denn der letzte Schliff kann auch heute noch der Linse nur durch das Fingerspitzengefühl des Schleifers gegeben werden. Beim ‚Sonnar' etwa, einem modernen, ultralichtstarken Objektiv, bilden 7 Linsen das System. Dafür hat es eine Lichtstärke von 1 : 1,5 — d. h. 5 cm Durchmesser bei 7,5 cm Brennweite. Und hier ist ein sehr berühmtes Objektiv; einer der ersten und besten Anastigmate: der aus vier Linsen zusammengesetzte ‚Tessar' von Zeiß.



Das Auge enthält eine Linse, die ein reelles, umgekehrtes, verkleinertes Bild der Außenwelt auf der Netzhaut entwirft. Wie kommt es, daß wir die Welt aufrecht sehen? Das ist eine häufige Frage — aber sie ist falsch gestellt. Lichtwellen fallen auf die Netzhaut und geben Nervenerregungen auf das Gehirn weiter, dem die Aufgabe zufällt, sich aus den ankommenden Zeichen ein Bild von der Außenwelt zu machen — so wie der Morsefunker die ankommenden Punkte und Striche erst in normales Deutsch umdeuten muß. Wie das Gehirn diese Übersetzung vornimmt, wissen wir nicht. Aber wir wissen, daß Kinder erst langsam sehen lernen müssen. Der Tastsinn, Wärmeempfindungen, kurz, *alle Sinne* helfen bei diesem ersten Prozeß des „Sich-zurechtfinden-Lernens" mit. Sie alle zusammen liefern schließlich das Bild, das wir uns von der Außenwelt machen — und von dem nur wir *allein etwas* wissen! Ich kann ja nicht einmal sagen, ob dein Bild das *gleiche* ist wie meines. Daß wir dieselben Worte zur Beschreibung benutzen, beweist noch nichts. Und warum sollte dies Bild, das *im* Gehirn entsteht, „verkehrt herum" liegen? Es ist nicht einmal recht

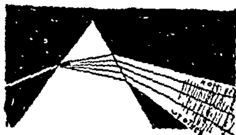
Schwingung stammt, ob von der untergehenden Sonne, aus einer Dunkelkammerlampe oder von dem übergeschnappten Funkturm. Bei uns wird nicht nach der Herkunft der Wellen gefragt — nur danach, ob sie vorgeschriebenes Maß, d. h. Wellenlänge haben. Von Huygens stammt diese Idee, und sie ist großartig. Sie hat



die Entwicklung der Spektroskopie zu einer exakten Wissenschaft erst möglich gemacht. Lord Kelvin sagt: Wenn du von einem Phänomen eine Messung, eine Zahl angeben kannst, dann weißt du etwas davon, wenn nicht, ist dein Wissen lückenhaft und unbefriedigend. Die Erkenntnis, daß die verschiedenen Farben nur psychologische Umdeutungen der verschiedenen Wellenlängen sind, war grundlegend und ergab die Zahl.

Weißes Licht ist ein toller Mischmasch vieler Wellenlängen — und umgekehrt ergibt eine Mischung der Regenbogenfarben für unser Auge „weißes Licht". So arbeitet der Farbenkreisel — auf

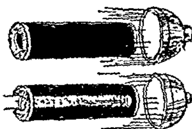
weiße Licht zu einem farbigen Band auseinanderzog. Weißes Licht ist nicht einheitlich; es ist aus verschiedenfarbigen Strahlen, den bekannten Regenbogenfarben zusammengesetzt — von Rot bis Violett. Am wenigsten wird Rot, am stärksten Violett abgelenkt. Wie läßt sich das erklären?



Wir kehren zu unseren Soldaten zurück und mischen sie mit Kadetten, jungen, schmächtigen Knaben, die einen erheblich kleineren Schritt am Leibe haben. Auf der Wiese marschieren noch alle gleich schnell; die Kadetten trippeln eben rascher. Aber beim Übergang in den Sturzacker werden sie doch erheblich mehr angestrengt — sie laufen doch langsamer als die Soldaten; und so fällt die unfreiwillige Schwenkung größer aus. Nachher marschieren sie zwar tapfer weiter — aber — — in einer anderen Richtung. Die Marschrichtung der Kadetten wird an der Grenze stärker gebrochen als die der langen Kerle. Kürzere Schritte — kürzere Wellenlänge, wenn wir wieder ans Licht denken. Kurzwelliges Licht also wird stärker gebrochen als langwelliges. Man hat durch die Brechung eine Möglichkeit, Licht nach seinen Wellenlängen auseinanderzuziehen, und der Schluß, den wir ziehen müssen, liegt auf der Hand: rotes Licht hat eine größere Wellenlänge als violettes. So ist es auch.

Die Farbe des Lichts hängt nur von seiner Wellenlänge ab. Farbe und Wellenlänge bedeuten das gleiche — nur daß Farbe ein psychologischer, ein anschaulicher, qualitativer Begriff, ein Erlebnis ist, Wellenlänge aber eine exakte, physikalisch meßbare Größe. Wo immer im Weltall eine Schwingung der Wellenlänge 0,42 μ unser Auge trifft — unser Gehirn wird den Eindruck „Violett" registrieren. Wann immer wir eine elektromagnetische Schwingung der Länge 0,65 μ treffen — wir nennen sie rot, sie erscheint unserem Auge so. Es ist ganz gleichgültig, woher diese

er ist „optisch leer". Ein Millionen Kerzen starker Scheinwerfer könnte ihn durchstrahlen — wir würden nichts merken, so wenig wir einer Starkstromleitung von außen ansehen, ob sie Strom führt oder nicht. Ein Atemzug voll Tabakrauch in den Kasten geblasen — und klar und scharf zeichnet sich der blendend weiße Lichtkegel vom dunklen Hintergrund ab. An den vielen wirbelnden Staubkörnchen und Rauchteilchen wird das Licht zur Seite abgebeugt, zerstreut, und dies Streulicht gelangt in unser Auge — wir sehen es. Das ist der Grund, warum es auf der Erde tagsüber hell ist. Das viele abgebeugte und allerorten diffus reflektierte Licht, das im Grunde natürlich von der Sonne herkommt, verbreitet sich vagabundierend über den ganzen Raum.



Wie auf einem glatten Teich die Wellenausbreitung vor sich geht, wissen wir. Aber wenn die Teichfläche nicht glatt und ungestört verläuft, wenn Steine und Felsen diese Fläche verunzieren? Es ist klar — dann laufen auch die Wellen nicht mehr gerade und ungestört. Sie werden durch die Steine zur Seite geworfen, abgebeugt, zerstreut. Und wir sehen eins — diese Streuwirkung wird stark vom Verhältnis der Hindernisse und der Wellenlängen abhängen.

Eine Streichholzschachtel in der Waschschüssel stört und zerstreut dort die kleinen Kräuselwellen. Dieselbe Streichholzschachtel schwimmt in der Dünung der Bucht von Biscaya — ob sich die breiten, mächtig dahinrollenden Wogen von der winzigen Schachtel stören lassen? Je langwelliger das Licht ist, um so weniger wird es gestört, abgebeugt. Und in der Luft ist Störmaterial genug. Staubteilchen, Wassertröpfchen, Rauch, all die kleinen Sonnenstäubchen, die in schnellem Zickzack in der schräg einfallenden Nachmittagssonne flirren — sie beugen das Licht ab, lenken es von seiner

dessen Fläche wie Tortenstücke die sieben Farben gemalt werden, und der dann bei einer schnellen Drehung, wenn die Eindrücke der Einzelstücke im Auge verschwimmen, zu einer weißen Fläche verschmilzt.

Wieso ist die Welt farbig und bunt? Auch das hängt mit der Wellenlänge des Lichts zusammen. Eine grüne Bettdecke — ein buntes Bild — ein roter Apfel — sie alle warten auf ihr Stichwort. Die Apfelmoleküle verschlucken grundsätzlich alles Licht, das auf sie trifft — nur rotes Licht, nur Wellen von 0,65 μ, schicken sie weiter. Was auch immer auf sie einstürmt — sie wiederholen ewig die gleiche Leier — rot, rot, rot. Die ganze Farbenpracht ist geborgter Glanz. Nimmt man den Apfel in die rot beleuchtete Dunkelkammer mit, so bleibt er rot, natürlich. Aber die grüne Decke sieht dort schwarz aus. Klar — sie hat die Gewohnheit, grünes Licht weiterzugeben; rotes, blaues, gelbes — kurz alles andere Licht zu verschlucken. Und vergeblich wartet sie hier in der Dunkelkammer auf ihr Stichwort — grün. So schweigt sie betreten. Man könnte sie mit einem beliebigen Licht beleuchten. Solange kein Grün in der Lichtquelle enthalten ist, wird die Decke uns auch nicht grün erscheinen. Geborgter Glanz, weiter nichts!

Die Praxis sieht freilich noch etwas „verschmierter" aus. Die meisten Stoffe sind nicht streng ‚monochromatisch'. Sie absorbieren nicht *alles*, was nicht in ihren Kram paßt. Die Bettdecke läßt neben dem Grün noch Spuren von Rot, Gelb und Blau gelten — wir haben es eben nie mit physikalisch reinen Farben zu tun, sondern mit Farbgemischen.

Warum ist der Himmel blau?

Die Antwort ist die: Kein Mensch, solange die Welt besteht, hat jemals einen Lichtstrahl von der Seite gesehen.

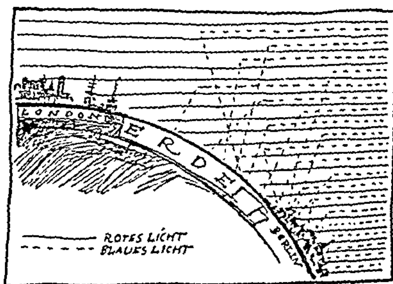
Schickt man das Licht längs durch einen leeren, völlig staubfreien Glaskasten, so erscheint er von der Seite absolut schwarz.

Ein Mensch, der sein Hab und Gut verstreut, ist bald bitterarm. Ein Sonnenlicht, das arglos und verschwenderisch sein Blau verstreut, ist bald nicht mehr weiß. Wenn der Weg durch die Atmosphäre lang genug ist — wenn abends die Sonne tief steht, kommen nur noch gelbe und blutrote Strahlen robuster, langwelliger Konstitution bei uns an. Das Blau ist unterwegs ausgegeben. Daher das farbenprächtige Ende des Tages. Die Höfe um Mond und Sonne, die gelegentlichen Nebensonnen und „Halos" der Arktis haben den gleichen Grund: Beugung des Lichts durch Störteilchen. Und die Technik weiß, weshalb sie die Autoscheinwerfer bei Nebel mit gelben Scheiben versieht. Gelbes Licht ist relativ langwellig und wird von den Nebeltröpfchen nicht so stark gebeugt und zurückgeworfen wie das gewöhnliche weiße Licht, das viel Blau enthält.

Die moderne Mikroskopie macht sich die Streuung des Lichtes mit einem eleganten Kunstgriff zunutze. Wir können nur Gegenstände sehen, die mindestens so groß sind wie eine Lichtwellenlänge — ein paar zehntausendstel Millimeter. Diese von der Natur gezogene Grenze hat die heutige Mikroskopier-Technik dank der Fortschritte des Linsenbaus und der Beleuchtung erreicht. Aber noch erheblich kleinere Gegenstände können das Licht merklich streuen. Das Ultramikroskop von Siedentopf und Zsigmondy nutzt das aus. Man sendet nicht wie sonst einen möglichst hellen Lichtstrahl in das Objektiv — man beleuchtet das Gesichtsfeld vielmehr grell von der Seite und schießt das Lichtbündel quer vor dem Objektiv vorbei. Schaut man hindurch, so sieht man zunächst nichts — schwarze Nacht. (Dunkelfeldbeleuchtung heißt die Sache.) Und wenn man die Versuchslösung hineingebracht hat, so leuchten plötzlich funkelnde Lichtblitze auf, wie ein schimmernder Sternenhimmel — die Versuchsobjekte. Teilchen bis zu einer zehntel Lichtwellenlänge sind so noch nachzuweisen. Man kann ihre Form nicht erkennen, es sind Lichtpunkte, weiter nichts. Aber man sieht doch, daß etwas da ist; und das ist häufig wichtig genug.

direkten Bahn in unser Auge und werden so sichtbar. Deswegen sieht man einen Lichtstrahl, wenn Zigarettenrauch in seinen Weg geblasen wird.

Ganz staubfreie Luft aber beugt das Licht doch nicht? Doch, auch sie beugt es. Ihre Moleküle sind groß genug, um das Licht zur Seite zu streuen, wenn es eine genügend kleine Wellenlänge hat — also wenn es violett oder blau ist. Blaues Licht wird von den



Molekülen der Luft gestreut — rotes Licht kaum merklich. Ein Mond-Himmel, ein Himmel ohne Luft ist tiefschwarz, völlig dunkel und farblos. Die Luft aber streut; auch von dem Sonnenlicht, das eigentlich nach London zielt, wird ein Teil — und eben vorwiegend der blaue, kurzwellige — noch in unser Berliner Auge abgelenkt. Deshalb also ist der Himmel blau. Je höher wir auf die Berge steigen, je klarer und staubfreier die Luft ist, um so weniger, um so blaueres Licht wird gestreut. Bei Dreckwetter hingegen, wenn die Atmosphäre von Wassertröpfchen, Dunst und Staub übervöllert ist, also von großen Partikeln, wird neben dem blauen auch langwelligeres Licht, Grün, Gelb, Rot gestreut — das Resultat ist ein trüber, schmutziggrauer Mischmasch.

Ein Mensch, der sein Hab und Gut verstreut, ist bald bitterarm. Ein Sonnenlicht, das arglos und verschwenderisch sein Blau verstreut, ist bald nicht mehr weiß. Wenn der Weg durch die Atmosphäre lang genug ist — wenn abends die Sonne tief steht, kommen nur noch gelbe und blutrote Strahlen robuster, langwelliger Konstitution bei uns an. Das Blau ist unterwegs ausgegeben. Daher das farbenprächtige Ende des Tages. Die Höfe um Mond und Sonne, die gelegentlichen Nebensonnen und ‚Halos' der Arktis haben den gleichen Grund: Beugung des Lichts durch Störteilchen. Und die Technik weiß, weshalb sie die Autoscheinwerfer bei Nebel mit gelben Scheiben versieht. Gelbes Licht ist relativ langwellig und wird von den Nebeltröpfchen nicht so stark gebeugt und zurückgeworfen wie das gewöhnliche weiße Licht, das viel Blau enthält.

Die moderne Mikroskopie macht sich die Streuung des Lichtes mit einem eleganten Kunstgriff zunutze. Wir können nur Gegenstände sehen, die mindestens so groß sind wie eine Lichtwellenlänge — ein paar zehntausendstel Millimeter. Diese von der Natur gezogene Grenze hat die heutige Mikroskopier-Technik dank der Fortschritte des Linsenbaus und der Beleuchtung erreicht. Aber noch erheblich kleinere Gegenstände können das Licht merklich streuen. Das Ultramikroskop von Siedentopf und Zsigmondy nutzt das aus. Man sendet nicht wie sonst einen möglichst hellen Lichtstrahl in das Objektiv — man beleuchtet das Gesichtsfeld vielmehr grell von der Seite und schießt das Lichtbündel quer vor dem Objektiv vorbei. Schaut man hindurch, so sieht man zunächst nichts — schwarze Nacht. (Dunkelfeldbeleuchtung heißt die Sache.) Und wenn man die Versuchslösung hineingebracht hat, so leuchten plötzlich funkelnde Lichtblitze auf, wie ein schimmernder Sternenhimmel — die Versuchsobjekte. Teilchen bis zu einer zehntel Lichtwellenlänge sind so noch nachzuweisen. Man kann ihre Form nicht erkennen, es sind Lichtpunkte, weiter nichts. Aber man sieht doch, daß etwas da ist; und das ist häufig wichtig genug.

Dunkles Licht

> Korff erfindet eine Tagnachtlampe,
> die, sobald sie angedreht,
> selbst den hellsten Tag
> in Nacht verwandelt.
>
> Morgenstern

Unsere Untersuchung über die Schicksale des Lichts hat uns zwangsläufig immer weiter hinunter geführt, bis zu den winzig kleinen Lichtwellen selbst. Man kann vielleicht damit rechnen, daß im Gebiet dieser kleinen Dimensionen wieder allerhand Merkwürdigkeiten und Überraschungen auftauchen, und man wird nicht enttäuscht. Die kürzeste Formel, die sich dafür finden läßt, heißt

Licht + Licht = Dunkelheit.

„Herr Fresnel ist ein Zauberer", so schrieb um 1820 der große französische Physiker Poisson, der mit aller Energie die ‚absurde Wellentheorie des Lichts' bekämpfte. „Herr Augustin Fresnel behauptet, um die Ecke sehen zu können. Er hat so gute Augen — wenn wir ihn in den Schatten eines undurchsichtigen Schirms stellen, will er die Lampe immer noch sehen können!" Poisson schlug sich an den Kopf vor lauter Verwunderung, daß anscheinend ernst zu nehmende Menschen wie der hochbegabte Fresnel einer Theorie anhängen könnten, die zu solchen widersinnigen Folgerungen führte. Was die Menschen alles glaubten!

Mr. Poisson hatte nicht so unrecht, und er war ein viel zu guter Physiker, als daß seine Behauptung nicht stich- und hiebfest gewesen sein sollte. Wir wissen ja auch alle — Wasserwellen können in gewissem Maße um ein kleines Hindernis herumlaufen. Warum also nicht auch Lichtwellen? Aber hier (Skizze auf der Nebenseite) ist die fotografische Aufnahme des Schattens eines kleinen Schirms: in der Mitte ist Licht! Poisson hatte — wirklich unbeabsichtigt! — die Wellentheorie fest begründet; kurz nach seinem Angriff wurde eben dieser „helle Schatten" eines kleinen Schirms entdeckt.

Der helle Schatten und das dunkle Licht — es ist nicht schwer, sie zur Verfügung zu stellen. Man nimmt zwei Kartonblätter in die Hand und



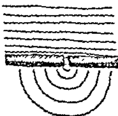
nähert sie einander langsam, bis nur ein schmaler Spalt zwischen ihnen ist. Man blickt durch diesen Spalt gegen die Lampe — nun ist es ein leuchtender Spalt. Die Blätter werden weiter genähert, bis der Spalt ganz fein wird, bis er sich schließt. Und kurz vor diesem Augenblick des Schließens — da erblickt man das Wunder. Der helle Spalt ist von feinen dunklen Linien durchzogen. Man sieht ihn nicht mehr! Man sieht keine scharfe Begrenzung der Papierblätter. Man sieht nur ein System von hellen und dunklen Streifen.





Wo eigentlich Licht sein sollte, in der Mitte des Spalts, da ist es ausgelöscht. Und wo kein Licht sein sollte, seitlich vom Spalt, im Schatten des Kartons — da sieht man Helligkeit. Ich steche mit der Nadel ein feines Loch in den Lampenschirm; dann habe ich eine punktförmige Lichtquelle. In ein Blatt Karton wird ein zweites Loch gestochen, und wenn ich dies Loch vor meine punktförmige Quelle bringe, so erscheint es vergrößert, nach den Rändern zu verwaschen, vielleicht auch von einem farbigen Saum oder von schwarzen Ringen umgeben. Wieder die Wirkung der Wellen!

Denken Sie wieder an die breite Wellenfront, die auf eine Mole zuläuft (S. 139); wenn nur eine enge Lücke von der Größenordnung der Wellenlänge vorhanden ist, so breiten sich die Wellen nach dem Durchgang merklich nach allen Seiten aus, das „Bild" der Lücke erscheint vergrößert und verwaschen, und dies um so mehr, je kleiner die Lücke wird. Es ist ganz so,



Dunkles Licht

> Korff erfindet eine Tagnachtlampe,
> die, sobald sie angedreht,
> selbst den hellsten Tag
> in Nacht verwandelt.
>
> Morgenstern

Unsere Untersuchung über die Schicksale des Lichts hat uns zwangsläufig immer weiter hinunter geführt, bis zu den winzig kleinen Lichtwellen selbst. Man kann vielleicht damit rechnen, daß im Gebiet dieser kleinen Dimensionen wieder allerhand Merkwürdigkeiten und Überraschungen auftauchen, und man wird nicht enttäuscht. Die kürzeste Formel, die sich dafür finden läßt, heißt

Licht + Licht = Dunkelheit.

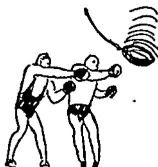
„Herr Fresnel ist ein Zauberer", so schrieb um 1820 der große französische Physiker Poisson, der mit aller Energie die ‚absurde Wellentheorie des Lichts' bekämpfte. „Herr Augustin Fresnel behauptet, um die Ecke sehen zu können. Er hat so gute Augen — wenn wir ihn in den Schatten eines undurchsichtigen Schirms stellen, will er die Lampe immer noch sehen können!" Poisson schlug sich an den Kopf vor lauter Verwunderung, daß anscheinend ernst zu nehmende Menschen wie der hochbegabte Fresnel einer Theorie anhängen könnten, die zu solchen widersinnigen Folgerungen führte. Was die Menschen alles glaubten!

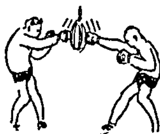
Mr. Poisson hatte nicht so unrecht, und er war ein viel zu guter Physiker, als daß seine Behauptung nicht stich- und hiebfest gewesen sein sollte. Wir wissen ja auch alle — Wasserwellen können in gewissem Maße um ein kleines Hindernis herumlaufen. Warum also nicht auch Lichtwellen? Aber hier (Skizze auf der Nebenseite) ist die fotografische Aufnahme des Schattens eines kleinen Schirms: in der Mitte ist Licht! Poisson hatte — wirklich unbeabsichtigt! — die Wellentheorie fest begründet; kurz nach seinem Angriff wurde eben dieser „helle Schatten" eines kleinen Schirms entdeckt.

Der helle Schatten und das dunkle Licht — es ist nicht schwer, sie zur Verfügung zu stellen. Man nimmt zwei Kartonblätter in die Hand und

Moment, wo der zweite es zu senken sucht. Als Resultat — das Schiff tut gar nichts. Es bleibt in Ruhe.

Ein Boxer bearbeitet einen Punchingball. Gleichmäßig schwingt er hin und her, immer im richtigen Takt von dem Hünen angestoßen — wie ein Ätherteilchen schwingt, wenn es immer im gleichen Takt von einer elektromagnetischen Welle angestoßen wird. Ein zweiter Boxer kommt hinzu, und nun hängt alles von seinem Temperament ab. Auch er, so wollen wir glauben, würde, allein gelassen, mit dem Ball in demselben Tempo arbeiten, hin und her, hin und her. Und ist er ein verträglicher Mensch, so springt er im richtigen Moment ein — und von der doppelten Kraft bearbeitet, fliegt der Ball nun noch einmal so weit, immer im alten Takt, hin und her. Zwei Lichtwellen gleicher Wellenlänge ergeben doppelte Helligkeit. Kein Wunder? Selbstverständlich? Aber wenn er nun schlecht gefrühstückt hat oder seinen Partner aus einem andern Grunde nicht leiden kann — was dann? Dann springt er im falschen Zeitpunkt ein; er schlägt genau so wild, genau so schnell wie der andere zu — aber in entgegengesetzter Richtung. Maschinenmäßig hämmern die beiden mit verzerrten Gesichtern auf den Ball los — und das gequälte Gebild bleibt zitternd und kraftlos in der Mitte zwischen den beiden stehen! Der Ball bleibt in Ruhe. Ein Ätherteilchen, an dem zwei gleiche Lichtwellen, die aber gegen den Takt schwingen, herumzerren, so daß dem Berg der einen, ein Tal der anderen entspricht, bleibt gleichfalls in Ruhe. Dort herrscht Dunkelheit. Zwei Lichtwellen können sich gegenseitig auslöschen.





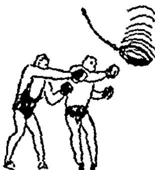
als hätte man an der Lücke einen Stein ins Wasser geworfen, der nun die bekannten Kreiswellen erzeugt: Die enge Lücke ist selbst zu einem ‚sekundären Wellenzentrum' geworden. Man kann den Versuch in einer Waschschüssel jederzeit nachprüfen.

Da haben wir's — das Licht ist nicht so harmlos, wie man immer gedacht hat. Mit der simplen Vorstellung des „Lichtstrahls" ist es nicht getan, sobald man mit den Apparaten in die Nähe der Lichtwellenlänge kommt, sobald also der Spalt oder das Loch genügend klein wird. Es ist nun bald 300 Jahre her, daß der Jesuitenpater Grimaldi diese ersten Beugungs-Erscheinungen entdeckte — er fand, daß unter Umständen im Innern eines Schattens Licht herrschen und daß Licht plus Licht = Dunkelheit sein kann. Grimaldi verstand das gar nicht. Er glaubte nicht an die Wellenbewegung — und seine ganze Zeit tat es nicht. Über diese Zeit herrschte unumschränkt und despotisch ein einziger gewaltiger Name — Newton. Unwiderstehlich zwang sein Genie die anderen Forscher zum Mitdenken. Sie dachten alle wie er — sie mußten so denken, sie konnten nicht anders. Ein Titan zwang der Welt seine Wissenschaft auf. Grimaldis Beugungsversuche bedeuten den klarsten denkbaren Beweis gegen Newtons Korpuskulartheorie — für Huygens, der verzweifelt aber umsonst den ungleichen Kampf gegen den Halbgott führte. Man schob Grimaldis Versuche beiseite. Hundertfünfzig Jahre mußten vergehen, ehe die Welt sich aus dem Bann befreite, in dem sie Newtons großer Geist noch im Tode gefangen hielt. Fresnel in Frankreich, Thomas Young in England verhalfen der Wellentheorie zum Sieg. Fresnel, blutjung, unbekümmert, erdachte den ersten Interferenz-Versuch.

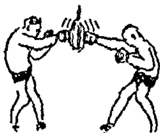
Können sich die Geschoßgarben zweier Maschinengewehre — dies Bild entspricht Newtons Korpuskular-Theorie — die in gleicher Richtung feuern, gegenseitig aufheben? Nur verstärken können sie sich! Aber zwei Wellenzüge, die mit- und nebeneinander herlaufen, können sich schon stören — man sagt: sie interferieren — wenn sie falschen Tritt haben. Der eine hebt das Schiff im gleichen

Moment, wo der zweite es zu senken sucht. Als Resultat — das Schiff tut gar nichts. Es bleibt in Ruhe.

Ein Boxer bearbeitet einen Punchingball. Gleichmäßig schwingt er hin und her, immer im richtigen Takt von dem Hünen angestoßen — wie ein Ätherteilchen schwingt, wenn es immer im gleichen Takt von einer elektromagnetischen Welle angestoßen wird. Ein zweiter Boxer kommt hinzu, und nun hängt alles von seinem Temperament ab. Auch er, so wollen wir glauben, würde, allein gelassen, mit dem Ball in demselben Tempo arbeiten, hin



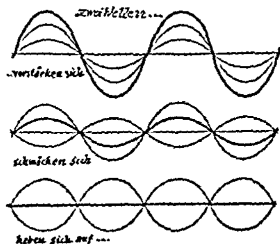
und her, hin und her. Und ist er ein verträglicher Mensch, so springt er im richtigen Moment ein — und von der doppelten Kraft bearbeitet, fliegt der Ball nun noch einmal so weit, immer im alten Takt, hin und her. Zwei Lichtwellen gleicher Wellenlänge ergeben doppelte Helligkeit. Kein Wunder? Selbstverständlich? Aber wenn er nun schlecht gefrühstückt hat oder seinen Partner aus einem andern Grunde nicht leiden kann — was dann? Dann springt er im falschen Zeitpunkt ein; er schlägt genau so wild, genau so schnell wie der andere zu — aber in entgegengesetzter Richtung. Maschinenmäßig hämmern die beiden mit verzerrten Gesichtern auf den Ball los — und das gequälte Gebild bleibt zitternd und kraftlos in der



Mitte zwischen den beiden stehen! Der Ball bleibt in Ruhe. Ein Ätherteilchen, an dem zwei gleiche Lichtwellen, die aber gegen den Takt schwingen, herumzerren, so daß dem Berg der einen, ein Tal der anderen entspricht, bleibt gleichfalls in Ruhe. Dort herrscht Dunkelheit. Zwei Lichtwellen können sich gegenseitig auslöschen.

Licht plus Licht = Dunkelheit: Das fanden Young und Fresnel. Damit war die Entscheidung zugunsten Huygens und gegen Newton gefallen. Sie entdeckten noch mehr. Sie fanden, daß das Licht eine ‚transversale' Welle ist.

Es gibt ja zwei Möglichkeiten einer Wellenbewegung. Transversal, wie Wasserwellen. Das Wasser schwingt auf und nieder — und die Welle läuft senkrecht dazu quer über die Oberfläche. Und longitudinal, in Richtung. So ist der Schall; die Luftteilchen schwingen hin und her in der Schallrichtung. Luftverdichtung — Luftverdünnung folgen aufeinander. Longitudinal schwingen die Hände der langen Kette, die den Feuereimer weiterreicht oder die Ziegelsteine zugibt.



Welcher Art war das Licht? Man hätte glauben sollen — longitudinal. Nur in festen elastischen Körpern können Transversalwellen entstehen. In Gasen gibt es nur longitudinale Wellen (weil es keine merkliche Anziehung der Atome gibt, nur Abstoßung, wenn sie einander zu nahe kommen). Und ist der Äther denn kein Gas? Ist er nicht unendlich fein und flüchtig über den ganzen Weltraum verteilt? Es schien doch so. Aber Fresnel mußte sich doch für die Transversalwellen entscheiden — sehr gegen seinen Willen; er sah die Schwierigkeiten wohl voraus.

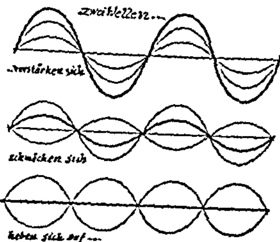
Wußten Sie übrigens, daß der Boxer am Punchingball ‚linear polarisiert' ist? Es ist kein Spaß — er ist es! Ständig boxt er in gleichem Tempo — immer in einer Richtung. Der Ball schwingt immer in einer Ebene — immer parallel zur Wand Nord—Süd.

Das und nichts anderes ist ein linear polarisierter Boxer. (Polar = gerichtet; linear = geradlinig). Und nun versucht Fresnel sein zweites Experiment. Wieder marschiert der zweite Boxer mit grimmiger Miene herein; nur stellt er sich diesmal nicht vor den Gegner, er stellt sich seitlich auf. Er will Ost-West-Richtung boxen. Der zweite ist auch linear polarisiert — o gewiß — aber in einer anderen Richtung, senkrecht zur ersten. Ist es eine Frage, was geschieht? Der Ball erhält Schläge in zwei Richtungen — er weicht, als der Klügere, in beiden Richtungen so weit wie möglich aus. Wie er sich bewegen wird — das ist schnell gesagt. Es hängt wieder vom Takt ab, vom Moment des Einsetzens. Schlagen wieder beide gleichzeitig zu — so weicht der Ball schräg nach der Seite aus — wir erinnern uns an das Theater-Kneipe-Kino-Beispiel von S. 78. Er schwingt geradlinig — aber quer zwischen beiden Boxern (linear polarisiert). Ist der zweite Mann gutmütig, schlägt er immer dann zu, wenn der erste eine Pause macht — so wird der Ball gleichmäßig im Kreis herumfliegen. Er beschreibt eine schöne runde Kreisbahn (kreisförmig, zirkular polarisiert). Und wenn der Einsatz sonst irgendwann erfolgt, so beschreibt der Punchingball weder einen Kreis noch eine Gerade — sondern etwas dazwischen: einen „länglichen Kreis", eine Ellipse (elliptisch polarisiert). Niemals aber, wohlgemerkt, niemals wird unter diesen Verhältnissen der Ball — das Ätherteilchen — zur Ruhe kommen. Zwei Lichtstrahlen, die senkrecht zueinander polarisiert sind, können sich niemals auslöschen — sie interferieren nicht.

Das fand Fresnel als Ergebnis seiner Versuche. Für eine longitudinale Schwingung wäre ein solches Verhalten unmöglich — und nun hatte er den unbequemen Schluß zu ziehen: Licht ist *transversale* Schwingung, d. h. der Licht-Äther ist ein fester Körper. Ein fester Körper, der unendlich fein ist und alle Stoffe der Welt durchdringt. Es ist kein Wunder, daß Fresnel und Young nicht recht wohl bei dieser Konsequenz ihrer Theorie war; und wenn man hört, was die Physiker alles für unheimliche Maschinerien mit Schrauben

Licht plus Licht = Dunkelheit: Das fanden Young und Fresnel. Damit war die Entscheidung zugunsten Huygens und gegen Newton gefallen. Sie entdeckten noch mehr. Sie fanden, daß das Licht eine ‚transversale' Welle ist.

Es gibt ja zwei Möglichkeiten einer Wellenbewegung. Transversal, wie Wasserwellen. Das Wasser schwingt auf und nieder — und die Welle läuft senkrecht dazu quer über die Oberfläche. Und longitudinal, in Richtung. So ist der Schall; die Luftteilchen schwingen hin und her in der Schallrichtung. Luftverdichtung — Luftverdünnung folgen aufeinander. Longitudinal schwingen die Hände der langen Kette, die den Feuereimer weiterreicht oder die Ziegelsteine zugibt. Welcher Art war das Licht? Man hätte glauben sollen — longitudinal. Nur in festen elastischen Körpern können Transversalwellen entstehen. In Gasen gibt es nur longitudinale Wellen (weil es keine merkliche Anziehung der Atome gibt,



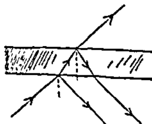
nur Abstoßung, wenn sie einander zu nahe kommen). Und ist der Äther denn kein Gas? Ist er nicht unendlich fein und flüchtig über den ganzen Weltraum verteilt? Es schien doch so. Aber Fresnel mußte sich doch für die Transversalwellen entscheiden — sehr gegen seinen Willen; er sah die Schwierigkeiten wohl voraus.

Wußten Sie übrigens, daß der Boxer am Punchingball ‚linear polarisiert' ist? Es ist kein Spaß — er ist es! Ständig boxt er in gleichem Tempo — immer in einer Richtung. Der Ball schwingt immer in einer Ebene — immer parallel zur Wand Nord—Süd.

Es ist klar, daß man mit zwei gewöhnlichen Lichtstrahlen keine Interferenzversuche anstellen kann — es sei denn, man sorgt dafür, daß die Polarisationsebene der beiden Strahlen festliegt — zum mindesten relativ festliegt wie bei den kämpfenden Boxern. Das gerade ist der Fall bei einem sehr dünnen Spalt oder einem feinen Loch. An beiden Spalträndern entstehen Huygensche Kugelwellen; aber, und das ist das Wichtige, sie werden von einem und demselben Lichtstrahl angeregt, stets haben beide denselben Polarisationsstand — somit können sie interferieren, und aus ihrem Zusammenwirken ergibt sich nun das Bild der hellen und dunklen Streifen, das den Spalt durchzieht.

Es ist Fresnels Verdienst, die Bedeutung der Polarisation ganz erfaßt zu haben. Bei seinem ersten „künstlichen Interferenzversuch", dem berühmten Spiegelversuch, wandte er das gleiche Prinzip an. Er teilte einen Lichtstrahl in zwei Hälften, spiegelte ihn und ließ nun die beiden Hälften — die beide ständig den gleichen Polarisationszustand haben! — interferieren. Noch heute beruhen alle Interferenzversuche auf diesem Kunstgriff, daß also, sagen wir es noch einmal, die Polarisationsebene relativ festgelegt wird, die beiden Boxer einander ständig gegenübergestellt werden.

Abends in der Straßenbahn erblickt man häufig eine Überlagerung zweier Welten: die wirkliche, leuchtende Welt draußen jenseits der Fensterscheibe; und eine etwas blasse, schemenhafte: unser eigenes Spiegelbild im Wagenfenster. Fensterglas ist kein vollkommener Spiegel; nur 4% des senkrecht auffallenden Lichts werden zurückgeworfen, 96% gehen hindurch. Freilich, je schiefer das Licht auftrifft, um so weniger dringt es ein, ein um so größerer Prozentsatz wird zurückgeworfen. Immer aber wird ein Lichtstrahl geteilt, wenn er auf eine Glasplatte trifft; ein Teil wird reflektiert, ein anderer dringt ein und wird nach dem Brechungsgesetz



und Zahnrädern, Wirbelkreiseln oder schaumartigen Massen sich ausdachten, ein brauchbares Äther-Modell zu konstruieren, so erschrickt man vor diesem Hexensabbat und muß beinahe am Sinn der Physik überhaupt verzweifeln.

Wir brauchen uns Gott sei Dank mit den Skrupeln Youngs nicht zu plagen — wir wissen schon längst, daß das Licht keine *elastische*, daß es eine *elektrische* Schwingung ist. *Wozu also diese* Gedanken und Sorgen um den Äther? Wir werden noch genug andere finden.

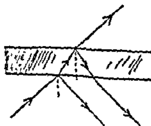
Es bliebe noch zu erklären, warum vor Fresnel *kein Mensch* vernünftige Interferenzen fand. Ganz einfach — es *hatte eben* keiner daran gedacht, die Boxer festzulegen. Gewiß ist natürliches Licht immer linear polarisiert; in einer Richtung, *einer Ebene* schwingt der *elektrische* Vektor. Aber was ein rechter Boxer ist, der boxt nicht immer Nord-Süd, er umtanzt den Ball, er springt von Zeit zu Zeit mit kleinen elastischen *Schritten in eine andere* Richtung, wahllos, unregelmäßig. *Das tut ein* Lichtstrahl auch. Er wechselt willkürlich, regellos seine Polarisationsrichtung — vielleicht tausend-, vielleicht millionenmal in der Sekunde. Bedenken wir freilich, daß die Frequenz des sichtbaren Lichts zwischen 400 und 750 Billionen Schwingungen pro Sekunde *liegt* — das entspricht eben den Wellenlängen 0,7—0,4 μ —, so fallen selbst bei millionenfachem sekundlichem Richtungswechsel in jede Richtung noch Millionen und Milliarden Schwingungen (vgl. Wellen, S. 111; bei all diesen Umrechnungen ist zu bedenken, daß Frequenz × Wellenlänge = Lichtgeschwindigkeit, 300000 km/sec. ist).

Es *ist klar, daß man mit einem* derartig regellos umherhüpfenden Boxer keine ordentlichen Interferenzversuche anstellen *kann* — es sei denn, sein Gegner hüpft genau so *wie er im* Saal umher, immer im gleichen Takt, als sei's ein Stück von ihm. Und für gewöhnlich tun ja kämpfende Boxer dies wirklich, sie sind *und* bleiben linear polarisiert, stets beide in derselben Richtung — sie stehen sich in jedem Augenblick gegenüber.

Es ist klar, daß man mit zwei gewöhnlichen Lichtstrahlen keine Interferenzversuche anstellen kann — es sei denn, man sorgt dafür, daß die Polarisationsebene der beiden Strahlen festliegt — zum mindesten relativ festliegt wie bei den kämpfenden Boxern. Das gerade ist der Fall bei einem sehr dünnen Spalt oder einem feinen Loch. An beiden Spalträndern entstehen Huygensche Kugelwellen; aber, und das ist das Wichtige, sie werden von einem und demselben Lichtstrahl angeregt, stets haben beide denselben Polarisationsstand — somit können sie interferieren, und aus ihrem Zusammenwirken ergibt sich nun das Bild der hellen und dunklen Streifen, das den Spalt durchzieht.

Es ist Fresnels Verdienst, die Bedeutung der Polarisation ganz erfaßt zu haben. Bei seinem ersten „künstlichen Interferenzversuch", dem berühmten Spiegelversuch, wandte er das gleiche Prinzip an. Er teilte einen Lichtstrahl in zwei Hälften, spiegelte ihn und ließ nun die beiden Hälften — die beide ständig den gleichen Polarisationszustand haben! — interferieren. Noch heute beruhen alle Interferenzversuche auf diesem Kunstgriff, daß also, sagen wir es noch einmal, die Polarisationsebene relativ festgelegt wird, die beiden Boxer einander ständig gegenübergestellt werden.

Abends in der Straßenbahn erblickt man häufig eine Überlagerung zweier Welten: die wirkliche, leuchtende Welt draußen jenseits der Fensterscheibe; und eine etwas blasse, schemenhafte: unser eigenes Spiegelbild im Wagenfenster. Fensterglas ist kein vollkommener Spiegel; nur 4% des senkrecht auffallenden Lichts werden zurückgeworfen, 96% gehen hindurch. Freilich, je schiefer das Licht auftrifft, um so weniger dringt es ein, ein um so größerer Prozentsatz wird zurückgeworfen. Immer aber wird ein Lichtstrahl geteilt, wenn er auf eine Glasplatte trifft; ein Teil wird reflektiert, ein anderer dringt ein und wird nach dem Brechungsgesetz



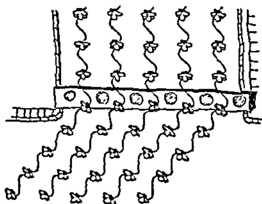
geknickt. Ein Bruchteil des eingedrungenen Lichts wird an der Rückwand der Scheibe zurückgespiegelt; so entstehen eigentlich immer zwei Spiegelbilder, die man bei einem schlechten Spiegel — leicht gegeneinander verschoben — auch beobachten kann. Bei einem guten Spiegel ist das reguläre Bild, das, welches an der silberbelegten Fläche entsteht, um so viel heller, daß es das andere „totbrüllt". Die beiden Spiegelbilder aber können interferieren, und sie tun es besonders dann, wenn das Glas dünn genug ist. Es wird von der Glasdicke abhängen, ob sie sich verstärken oder auslöschen, und von der Wellenlänge. Bei einer bestimmten Dicke wird Blau ausgelöscht, und Rot bleibt übrig; bei einer anderen ist Blau der glückliche Überlebende, und Rot stirbt. Das dünne Glas erscheint gefärbt — in den „Farben dünner Blättchen'. Bis jetzt mag die ganze Interferenzangelegenheit vielleicht etwas trocken und theoretisch erscheinen, aber sie ist wirklich genug. Die hauchdünne Ölschicht auf regennassem Asphalt, die gespannte, spiegelnde Haut der Seifenblasen — sie verdanken ihre leuchtende Farbenpracht der Interferenz. Und wenn ich eine Lampe mit etwas zusammengekniffenen Augen betrachte und mich über den Strahlenstern freue, der dabei entsteht — so ist auch das nur eine Interferenzerscheinung, hervorgerufen durch die Beugung des Lichts an den Wimpern!

Gemeinhin wird behauptet, eine Grammophonplatte sei schwarz. Wir behaupten das Gegenteil — und wir werden es auch beweisen. Auf der Platte sind in engen Abständen viele Furchen eingeritzt. Wenn man ganz schräg über ihre Fläche ins Licht schaut, so sieht man die schwarze Platte in den schönsten Regenbogenfarben aufleuchten. Was zu beweisen war.

Der Physiker, nach dem Grund dieser Farbenpracht befragt, murmelt etwas von: „Interferenz — die Platte ist ein Gitter" und empfiehlt sich. Was ist ein ‚Gitter', physikalisch verstanden?

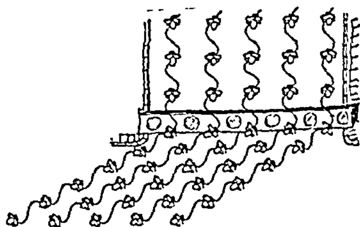
Gitter

Das Brandenburger Tor in Berlin hat fünf Durchfahrten. Geradeaus vom Schloß kommt ein Zug Reichswehr, fünf Mann in jeder Reihe, und sie sind nobel — jeder Mann marschiert durch eine besondere Durchfahrt; auf der anderen Seite ist selbstverständlich die Ordnung nicht gestört. Die Marschreihen kommen so glatt und haargenau ausgerichtet wieder heraus, wie sie hineinmarschierten. Es mag den Soldaten aus irgendeinem Grunde geboten erscheinen, nachher nicht geradeaus, sondern in irgendeinem Winkel weiterzumarschieren — etwa halbrechts, zur Siegessäule nach der Kaserne am Lehrter Bahnhof. Die erste Reihe: sie treten alle gleichzeitig aus ihrer Durchfahrt, machen eine knappe Achteldrehung und marschieren im Gleichschritt weiter. Und wie sieht die Sache aus?



Scheußlich. Von einer glatten, geraden Marschfront kann keine Rede mehr sein — je weiter nach links, desto mehr hinken die Soldaten nach. Die Ordnung jedenfalls ist gestört. Der Zufall kann es wollen, daß die Ordnung doch erhalten bleibt. Zwar an der Spitze nicht — dort hat immer der rechte Flügelmann den Vorsprung. Aber es kann ja sein, daß nach der Wendung der rechte Flügelmann von Reihe 5 gerade neben dem zweiten von rechts aus Reihe 4 marschiert — der freilich gegen seinen Flügelmann 4 etwas

zurückbleibt. Links davon, und zwar wirklich exakt daneben, marschiert die Nummer 3 aus Reihe 3, 4 aus Reihe 2 schließt sich an, und der linke Flügelmann von Reihe 1 beschließt die Ecke. Gewiß, die alte Ordnung ist gestört. Aber eine Uniform sieht aus



wie die andere, und ein harmloser Passant, der an der Siegessäule plötzlich dazukommt, freut sich über die schön ausgerichteten Reihen und meint, alles sei in bester Ordnung. Man sieht — es wird gewisse Richtungen geben, bei denen dies Phänomen auftreten kann. Gewisse Richtungen, bei denen das ganze Regiment im großen und ganzen nachher in einer richtigen, wenn auch anderen Ordnung weitermarschiert.

Aber man sieht auch — diese glücklichen Richtungen sind Ausnahmefälle. Im allgemeinen wird die Marschordnung gestört sein. Und man sieht noch mehr. Die „Ordnungsrichtung" wird vom Abstand zweier Marschreihen abhängen. Je näher die Reihen aneinander marschieren, um so kleiner muß der Winkel sein. Die Analogie ist klar. Ein Lichtbündel fällt auf eine Reihe von Öffnungen. Nach dem Durchgang breitet es sich — gemäß der Beugung! — nach allen Richtungen aus. Und es gibt gewisse Richtungen, aber nur ein paar, für die nachher das Licht in voller Ordnung weiterzieht. In den meisten anderen Richtungen herrscht keine Ordnung mehr. Ordnung heißt hier, wenn quer durch das ganze

Bündel jeder Strahl die gleiche ‚Wellenphase' hat — also alle zusammen Berg, alle zusammen Tal, alle zusammen Null; aber nicht einer Berg und der Nachbar Tal — denn dann löschen sich ja diese beiden durch Interferenz aus. Nach dem Durchgang durch eine Reihe von Öffnungen kann nur in einigen wenigen, bestimmten Richtungen Licht weiterstrahlen. In allen Zwischenrichtungen löscht es sich durch Interferenz aus. Die Vorzugsrichtung hängt vom Abstand der Reihen — d. h. von der Lichtwellenlänge ab. Kurzwelliges Licht macht einen kleineren Winkel. Man hat das Licht in seine Farben zerlegt — wie mit einem Prisma! Eine solche Vorrichtung nennt man ein ‚Beugungsgitter'. Die Gitter waren das großartigste Hilfsmittel für die Spektroskopie, das sich denken läßt, wegen ihrer enormen Farbenempfindlichkeit. Aber man nimmt nicht fünf Spalte wie beim Brandenburger Tor, sondern Tausende und mehr. Je mehr Spalte, desto besser.

Die Herstellung solcher Gitter ist ein Problem für sich. Die besten Gitter wurden von Rowland hergestellt, mit einem Diamanten auf Spiegelmetall geritzt. Es gibt nur drei Teilmaschinen auf der Welt — in Baltimore, London und in Australien. Rowland baute drei Maschinen; das Wesentliche ist eine absolut vollkommene Schraube, die haargenaue, konstante ‚Steigung', die nicht den geringsten toten Gang hat. Und es gelang ihm, 20000 Furchen auf den Zoll, also achthundert Striche auf das Millimeter zu ritzen — und das über eine Strecke von 14 cm. Ein jeder Strich ist also noch nicht einmal 1 μ breit — denn zwischen den Strichen sind Zwischenräume — er ist so breit wie eine Lichtwellenlänge. Ein großes Beugungsgitter ist eine Kostbarkeit, eine wissenschaftliche Rarität. Es wird wie ein Kind gepflegt, in einem tiefen besonderen Kellerraum auf Betonklötzen gelagert, vor jeder Erschütterung, vor jeder Temperaturschwankung, vor jeder Luftveränderung sorgfältig bewahrt. Bei dem Wort „Gitterraum" gehen die Spektroskopiker schon auf Zehen.

Manche Schmetterlinge und Vögel übrigens haben Rowland

und seine Teilmaschine nicht nötig. Auf ihren Flügeln befinden sich feine, regelmäßige Rippen, ein winziges Gitterwerk. In auffallendem Licht entsteht hier durch Beugung ein schimmerndes, wechselndes Farbenspiel — Interferenz-Farben.

Eine wunderbare, von niemand vorhergesehene Anwendung fand das Gitterprinzip im Jahre 1912. Damals gelang Professor v. Laue der große Schlag.

Man kannte die Röntgenstrahlen; man vermutete wohl stark, daß sie eine Wellenstrahlung darstellten — aber es war nicht möglich, ihre Wellenlänge zu messen. Die geistreichsten Apparate und Experimente der Forscher versagten; optische Gitter, mit denen man sichtbares Licht auf ein zehntausendstel Prozent vermißt, blieben wirkungslos. Glatt und ungehindert schossen die Röntgenstrahlen durch das Gitter; keine Spur von Beugung. 20000 Furchen auf den Zoll hatte Rowland auf das Spiegelmetall geritzt; das Mikroskop entschleiert die Gitterstruktur nicht mehr, vermag sie nicht mehr aufzulösen. Aber noch war sie riesenhaft und ungeschlacht für die überwinzigen Röntgenstrahlen — wie die meterbreiten Durchfahrten des Brandenburger Tors für Kräuselwellen der Waschschüssel es wären. Der Fall lag hoffnungslos. Es schien für alle Zukunft unmöglich, hinreichend feine Gitter zu ritzen. Bis ein Mann entdeckte, daß es diese Gitter schon gab — gab, solange die Erde stand.

Max v. Laue kam auf den Gedanken, auf den wunderbaren Gedanken — die Kristallgitter zu benutzen. In erstaunlicher Regelmäßigkeit, viel exakter als bei den besten unserer Instrumente, liegt Atom neben Atom im Gitter eines Steinsalzkristalls. Man kennt die „Gitterkonstante", den Abstand zweier Atome. Man weiß, er beträgt 0,24 millionstel Millimeter. Und Laue schickte als erster einen Röntgenstrahl quer durch einen Kristall.

Ein jedes Atom beugt die auffallende Welle etwas ab und wirft sie aus der Richtung. Genau wie bei einem optischen Gitter gibt es gewisse bevorzugte Richtungen, in denen sich alle Einzelwellen verstärken, ein Helligkeitsmaximum ergeben. Genau so wie dort

löschen sich überall dazwischen die Wellen aus. So wie man durch einen Säulensaal mit regelmäßig stehenden Säulen oder durch einen geometrisch genau angepflanzten Wald nur in gewissen Richtungen freien Durchblick hat, so läßt der Steinsalzkristall nur in gewissen Richtungen Röntgenlicht hindurch; auf einer Fotoplatte dahinter entsteht ein System von verstreuten Punkten, regelmäßig angeordnet. Dieses gesetzmäßige Bild von Interferenzpunkten (das Lauediagramm) ist ein Symbol — mehr, ein genaues Abbild des Kristallgefüges. Wer richtig sehen gelernt hat, wer also den mathematischen Apparat der Gittertheorie beherrscht, sieht in diesen unscheinbaren schwarzen Flecken ein Bild der Atome im Steinsalz.

Eine wunderbare Ausgangsidee — sie wurde in wenigen Jahren in den Händen von Debye und Scherrer und vor allem der beiden Engländer Bragg (Vater und Sohn) zu einem wahren Zauberinstrument. Sie entschleierten bis ins letzte, in exakten Zahlen, den verwickelten Mikrobau, die Kristallstruktur der Materie. Mittels des Lauediagramms kann man ebenso genau wie mit einer chemischen Analyse die Natur eines Stoffgemisches bestimmen. Heute ist die „innere Materialprüfung" durch Röntgenstrahlen bereits bis in die Technik vorgedrungen; in vielen Fabriken werden wichtige Metallwerkstücke mit Röntgenlicht durchleuchtet und auf Herz und Nieren geprüft. Schiffskessel, große Röhren und dergleichen freilich lassen sich schlecht in den Prüfungsraum bringen. Seit kurzer Zeit kann auch ihnen geholfen werden. Es gibt heute bereits fahrbare Prüfungswagen, die zum Material kommen, wenn das *Material nicht* zu ihnen kommen will. Der Wagen enthält die nötige Ausrüstung, eine Kamera und eine frei bewegliche Röntgenröhre, die ohne weiteres ins Innere der Kessel gebracht werden kann. Ein paar Sekunden wird der Strom eingeschaltet, die Platte exponiert und entwickelt, und im Augenblick sind verborgene Risse, Querschalten und Störungen im molekularen Gefüge entdeckt. Wir haben heute keinen Grund mehr, die Interferenztheorie als unerheblich oder als nutzlose Theorie zu betrachten.

und seine Teilmaschine nicht nötig. Auf ihren Flügeln befinden sich feine, regelmäßige Rippen, ein winziges Gitterwerk. In auffallendem Licht entsteht hier durch Beugung ein schimmerndes, wechselndes Farbenspiel — Interferenz-Farben.

Eine wunderbare, von niemand vorhergesehene Anwendung fand das Gitterprinzip im Jahre 1912. Damals gelang Professor v. Laue der große Schlag.

Man kannte die Röntgenstrahlen; man vermutete wohl stark, daß sie eine Wellenstrahlung darstellten — aber es war nicht möglich, ihre Wellenlänge zu messen. Die geistreichsten Apparate und Experimente der Forscher versagten; optische Gitter, mit denen man sichtbares Licht auf ein zehntausendstel Prozent vermißt, blieben wirkungslos. Glatt und ungehindert schossen die Röntgenstrahlen durch das Gitter; keine Spur von Beugung. 20000 Furchen auf den Zoll hatte Rowland auf das Spiegelmetall geritzt; das Mikroskop entschleiert die Gitterstruktur nicht mehr, vermag sie nicht mehr aufzulösen. Aber noch war sie riesenhaft und ungeschlacht für die überwinzigen Röntgenstrahlen — wie die meterbreiten Durchfahrten des Brandenburger Tors für Kräuselwellen der Waschschüssel es wären. Der Fall lag hoffnungslos. Es schien für alle Zukunft unmöglich, hinreichend feine Gitter zu ritzen. Bis ein Mann entdeckte, daß es diese Gitter schon gab — gab, solange die Erde stand.

Max v. Laue kam auf den Gedanken, auf den wunderbaren Gedanken — die Kristallgitter zu benutzen. In erstaunlicher Regelmäßigkeit, viel exakter als bei den besten unserer Instrumente, liegt Atom neben Atom im Gitter eines Steinsalzkristalls. Man kennt die „Gitterkonstante", den Abstand zweier Atome. Man weiß, er beträgt 0,24 millionstel Millimeter. Und Laue schickte als erster einen Röntgenstrahl quer durch einen Kristall.

Ein jedes Atom beugt die auffallende Welle etwas ab und wirft sie aus der Richtung. Genau wie bei einem optischen Gitter gibt es gewisse bevorzugte Richtungen, in denen sich alle Einzelwellen verstärken, ein Helligkeitsmaximum ergeben. Genau so wie dort

löschen sich überall dazwischen die Wellen aus. So wie man durch einen Säulensaal mit regelmäßig stehenden Säulen oder durch einen geometrisch genau angepflanzten Wald nur in gewissen Richtungen freien Durchblick hat, so läßt der Steinsalzkristall nur in gewissen Richtungen Röntgenlicht hindurch; auf einer Fotoplatte dahinter entsteht ein System von verstreuten Punkten, regelmäßig angeordnet. Dieses gesetzmäßige Bild von Interferenzpunkten (das Lauediagramm) ist ein Symbol — mehr, ein genaues Abbild des Kristallgefüges. Wer richtig sehen gelernt hat, wer also den mathematischen Apparat der Gittertheorie beherrscht, sieht in diesen unscheinbaren schwarzen Flecken ein Bild der Atome im Steinsalz.

Eine wunderbare Ausgangsidee — sie wurde in wenigen Jahren in den Händen von Debye und Scherrer und vor allem der beiden Engländer Bragg (Vater und Sohn) zu einem wahren Zauberinstrument. Sie entschleierten bis ins letzte, in exakten Zahlen, den verwickelten Mikrobau, die Kristallstruktur der Materie. Mittels des Lauediagramms kann man ebenso genau wie mit einer chemischen Analyse die Natur eines Stoffgemisches bestimmen. Heute ist die „innere Materialprüfung" durch Röntgenstrahlen bereits bis in die Technik vorgedrungen; in vielen Fabriken werden wichtige Metallwerkstücke mit Röntgenlicht durchleuchtet und auf Herz und Nieren geprüft. Schiffskessel, große Röhren und dergleichen freilich lassen sich schlecht in den Prüfungsraum bringen. Seit kurzer Zeit kann auch ihnen geholfen werden. Es gibt heute bereits fahrbare Prüfungswagen, die zum Material kommen, wenn das Material nicht zu ihnen kommen will. Der Wagen enthält die nötige Ausrüstung, eine Kamera und eine frei bewegliche Röntgenröhre, die ohne weiteres ins Innere der Kessel gebracht werden kann. Ein paar Sekunden wird der Strom eingeschaltet, die Platte exponiert und entwickelt, und im Augenblick sind verborgene Risse, Quetschfalten und Störungen im molekularen Gefüge entdeckt. Wir haben heute keinen Grund mehr, die Interferenztheorie als unerheblich oder als nutzlose Theorie zu betrachten.

und seine Teilmaschine nicht nötig. Auf ihren Flügeln befinden sich feine, regelmäßige Rippen, ein winziges Gitterwerk. In auffallendem Licht entsteht hier durch Beugung ein schimmerndes, wechselndes Farbenspiel — Interferenz-Farben.

Eine wunderbare, von niemand vorhergesehene Anwendung fand das Gitterprinzip im Jahre 1912. Damals gelang Professor v. Laue der große Schlag.

Man kannte die Röntgenstrahlen; man vermutete wohl stark, daß sie eine Wellenstrahlung darstellten — aber es war nicht möglich, ihre Wellenlänge zu messen. Die geistreichsten Apparate und Experimente der Forscher versagten; optische Gitter, mit denen man sichtbares Licht auf ein zehntausendstel Prozent vermißt, blieben wirkungslos. Glatt und ungehindert schossen die Röntgenstrahlen durch das Gitter; keine Spur von Beugung. 20000 Furchen auf den Zoll hatte Rowland auf das Spiegelmetall geritzt; das Mikroskop entschleiert die Gitterstruktur nicht mehr, vermag sie nicht mehr aufzulösen. Aber noch war sie riesenhaft und ungeschlacht für die überwinzigen Röntgenstrahlen — wie die meterbreiten Durchfahrten des Brandenburger Tors für Kräuselwellen der Waschschüssel es wären. Der Fall lag hoffnungslos. Es schien für alle Zukunft unmöglich, hinreichend feine Gitter zu ritzen. Bis ein Mann entdeckte, daß es diese Gitter schon gab — gab, solange die Erde stand.

Max v. Laue kam auf den Gedanken, auf den wunderbaren Gedanken — die Kristallgitter zu benutzen. In erstaunlicher Regelmäßigkeit, viel exakter als bei den besten unserer Instrumente, liegt Atom neben Atom im Gitter eines Steinsalzkristalls. Man kennt die „Gitterkonstante", den Abstand zweier Atome. Man weiß, er beträgt 0,24 millionstel Millimeter. Und Laue schickte als erster einen Röntgenstrahl quer durch einen Kristall.

Ein jedes Atom beugt die auffallende Welle etwas ab und wirft sie aus der Richtung. Genau wie bei einem optischen Gitter gibt es gewisse bevorzugte Richtungen, in denen sich alle Einzelwellen verstärken, ein Helligkeitsmaximum ergeben. Genau so wie dort

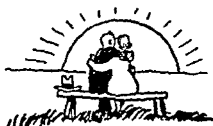
erheblich größerem Maßstab zu wiederholen — im Weltraum nämlich. Der Jupiter wurde sein Blendlaternen-Mann — ein Jupiter-Mond war die Lichtquelle, und wenn dieser Mond in den Jupiterschatten eintrat, so verlöschte sein Licht. Die Mondfinsternis war ein Lichtsignal. Olaf Römer dachte an nichts Böses; er hatte nur die Verfinsterungen berechnet und kontrollierte nun den Jupiter auf seine Pünktlichkeit. Im Sommer stimmte alles. Aber nach einem halben Jahr, im Winter, mußte er zu seinem Schreck feststellen — der Jupiter ging nach! Nicht weniger als 15 Minuten zu spät tauchte der Mond in den dunklen Schatten ein. Ob die Rechnungen falsch waren? Noch einmal wurden die Tabellen geprüft. Mittlerweile wurde es wieder Sommer — und als wäre nichts gewesen, ging nun der Jupiter so genau und akkurat nach Römers Berechnungen, und die Lichtsignale trafen so herrlich auf die Sekunde ein, daß es eine wahre Freude war. Und nun entdeckte Römer den Fehler: zwischen Sommer und Winter lagen nicht nur sechs Monate — zwischen Sommer und Winter lag die Erdbahn!





Die ersten Messungen wurden in Jupiter-Nähe angestellt; nach einem halben Jahr standen sich Erde und Jupiter diametral gegenüber. Um 300000000 km hatte sich ihre Entfernung vergrößert. Die Verspätung war durch den größeren Lichtweg bedingt — und eine einfache Rechnung ergab ungefähr 300000 km/sec Lichtgeschwindigkeit. So erklärte Römer seine Beobachtung; aber seine Zeit wollte davon nichts wissen.

Lichtgeschwindigkeit



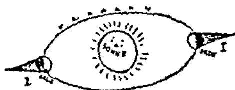
Als ich, als Junge, die erste Bekanntschaft mit der Physik machte, kam mir eine Zeichnung vor die Augen, die mir ungeheuer gefiel: ein Professor beobachtete mit der Uhr in der Hand den Sonnenaufgang und sagte befriedigt: „Stimmt — die Sonne geht ziemlich pünktlich auf!"

Aber geht denn die Sonne pünktlich auf? Wenn wir sie am Horizont erscheinen sehen — so war sie eigentlich schon vor 8½ Minuten dort; wenn sie im Westen untergeht, so sehen wir sie noch 8½ Minuten lang — obwohl sie eigentlich schon versunken ist! Das klingt ein wenig unwahrscheinlich, ich weiß. Dennoch ist es so. Denn 8½ Minuten braucht das Licht von der Sonne zur Erde.

Das Licht läuft nicht eben langsam. Das Altertum meinte sogar, es breite sich momentan aus. Ein Blitz erhellt die ganze Landschaft gleichzeitig, so wurde gesagt, und darauf schloß man auf eine unendlich große Geschwindigkeit. Galilei hat, wie an vielem, so auch hieran gezweifelt. Er unternahm einen Versuch; zwei Leute mit Blendlaternen stellte er möglichst weit voneinander auf, die so abgerichtet waren, daß der erste seine Laterne schloß und der zweite, sobald er das sah, seinem Beispiel folgte. Aber das Versuchsergebnis war negativ — innerhalb der menschlichen Fehlergrenzen löschten beide ihr Licht gleichzeitig aus. Galilei schloß daraus mit Recht nur eins — daß die Lichtgeschwindigkeit sehr groß, z. B. größer als die des Schalles ist. Beide Licht-Theorien, die dann entstanden (Huygens, Newton), forderten gebieterisch die Existenz einer endlichen Lichtgeschwindigkeit. Und 1675 hatte Olaf Römer den glücklichen Gedanken — oder vielmehr, der Gedanke wurde ihm von der Natur untergeschoben —, den Galileischen Versuch in

erheblich größerem Maßstab zu wiederholen — im Weltraum nämlich. Der Jupiter wurde sein Blendlaternen-Mann — ein Jupiter-Mond war die Lichtquelle, und wenn dieser Mond in den Jupiterschatten eintrat, so verlöschte sein Licht. Die Mondfinsternis war ein Lichtsignal. Olaf Römer dachte an nichts Böses; er hatte nur die Verfinsterungen berechnet und kontrollierte nun den Jupiter auf seine Pünktlichkeit. Im Sommer stimmte alles. Aber nach einem halben Jahr, im Winter, mußte er zu seinem Schreck feststellen — der Jupiter ging nach! Nicht weniger als 15 Minuten zu spät tauchte der Mond in den dunklen Schatten ein. Ob die Rechnungen falsch waren? Noch einmal wurden die Tabellen geprüft. Mittlerweile wurde es wieder Sommer — und als wäre nichts gewesen, ging nun der Jupiter so genau und akkurat nach Römers Berechnungen, und die Lichtsignale trafen so herrlich auf die Sekunde ein, daß es eine wahre Freude war. Und nun entdeckte Römer den Fehler: zwischen Sommer und Winter lagen nicht nur sechs Monate — zwischen Sommer und Winter lag die Erdbahn!

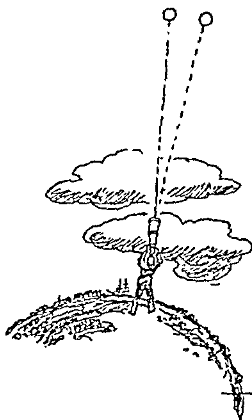




Die ersten Messungen wurden in Jupiter-Nähe angestellt; nach einem halben Jahr standen sich Erde und Jupiter diametral gegenüber. Um 300000000 km hatte sich ihre Entfernung vergrößert. Die Verspätung war durch den größeren Lichtweg bedingt — und eine einfache Rechnung ergab ungefähr 300000 km/sec Lichtgeschwindigkeit. So erklärte Römer seine Beobachtung; aber seine Zeit wollte davon nichts wissen.

Was Bradley dabei dachte

Erst fünfzig Jahre später kommt neues Leben in dies Kapitel — durch einen Windstoß. Der Astronom Bradley überquerte die Themse mit der Fähre. Ein Windstoß, der ihm den Hut vom Kopf warf, schreckte ihn aus seinem Brüten auf — und wenn der Hut auch verloren war, er begann vor lauter Freude zu schreien: denn er war in diesem Augenblick auf die Schiffsfahne aufmerksam geworden: sie wehte nicht direkt nach hinten, wie bei windstillem Wetter, noch auch direkt zur Seite, in der Windrichtung — sie einigte sich auf eine mittlere Linie zwischen Fahrtrichtung und Windrichtung. Wir kennen diese Zusammensetzung zweier Kräfte, das Kräfteparallelogramm. Aber für Bradley war es etwas Neues, und es bedeutete für ihn die Lösung des Rätsels, über das er nachgegrübelt hatte: die Abweichung der Fixsterne, die er bemerkt hatte.

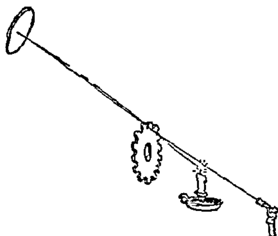


Es ist ganz klar — wenn das Licht eine gewisse Zeit braucht, um das Fernrohr zu durchmessen, und das Fernrohr mit der Erde in dieser Zeit vorangetragen wird — so bleibt der Lichtstrahl etwas zurück, und das Bild erscheint nicht in der Mitte, sondern nach hinten verschoben. Und da Erde und Fernrohr im Laufe des Jahres einen vollen Kreis beschreiben, so beschreibt der beobachtete Fixstern im Laufe des Jahres ebenfalls einen kleinen Kreis — ein getreues

Abbild der Erdbahn. Wie der Jäger, der ein laufendes Wild schießt, etwas vorhält — so muß Bradley mit seinem Fernglas etwas vorhalten. Die Erdgeschwindigkeit ist bekannt; so läßt sich die Lichtgeschwindigkeit berechnen. Es ergab sich Römers Wert, 300000 km/sec, und nun verstummten die Zweifler.

Fizeau hatte zuerst den kühnen Gedanken, die Lichtgeschwindigkeit auf der Erde zu bestimmen.

Das Drehtürprinzip. Ein Lichtstrahl wird durch eine Drehtür, bei Fizeau durch eine Zahnlücke in einem stillstehenden Zahnrad hindurchgeschickt — trifft auf einen Spiegel und kehrt durch dieselbe Lücke zurück — in ein kleines Fernrohr, wo er als Lichtpunkt aufglänzt. Zehn, später fünfundzwanzig Kilometer vom Beleuchtungsort entfernt wurde dieser Spiegel angebracht; man setzte ihn in den Brennpunkt eines zweiten Fernrohrs. Es war eine Meisterleistung, ihn genau genug zu justieren, so daß der Strahl genau auf dieselbe Lücke zurückfiel: einen Lichtarm von 10 km auf ein Millimeter genau zu richten, ist nicht einfach. Nun aber beginnt Fizeau



sein eigentliches Experiment — hell glänzt der Lichtpunkt im Fernrohr, und er gibt Befehl, das Zahnrad zu drehen. Immer schneller arbeitet das Uhrwerk. Zwei, vier, zehn Umdrehungen in der

Sekunde — noch ist alles hell. Der Lichtstrahl erledigt seine Landpartie von 20 Kilometern im Bruchteil einer Sekunde — und findet bei der Rückkehr noch eine Lücke vor. „Weiter", sagt Fizeau und preßt das Auge gegen das Okular. Elf, zwölf — da, bei 13,2 tritt das erwartete Wunder ein — mit einem Schlage ist das Licht ausgelöscht. Wie schnell auch der Lichtblitz über Land jagte — das Zahnrad war schneller, und bei Rückkehr fand sich das Licht vor der geschlossenen Drehtür. Ein Zahn versperrte den Weg. So ging es weiter. Noch rascher rotierte das Rad — bei 26,4 Umdrehungen erglänzte der Lichtpunkt plötzlich wieder: das Licht ging nun durch die erste Lücke hinaus auf die Reise — und kam durch die nächste zurück. Das war der berühmte Lichtpunkt, dessen Verschwinden die Erleuchtung brachte: mit einem Zahnrad und einem Spiegel hatte Fizeau die Geschwindigkeit der Geschwindigkeiten, die größte mögliche Geschwindigkeit unserer Welt auf der Erde gemessen.

Er hat zusammen mit Foucault später einen zweiten Versuch ausgearbeitet: die Drehspiegel-Methode.

Das Licht fällt auf einen Spiegel — über einen kurzen Weg auf einen zweiten Spiegel, zurück zum ersten und ins Fernrohr. Der erste Spiegel wird nun rasch gedreht — so findet der rückkehrende Strahl ihn etwas verschoben vor, und er wird in eine etwas andere Richtung gespiegelt als bei ruhendem Spiegel. Je rascher die Drehung — desto größer die Ablenkung. Foucault und Fizeau drückten den Lichtweg auf wenige Meter herunter; sie maßen die Lichtgeschwindigkeit tatsächlich im Laboratorium.

Die „Steeplechase nach der Lichtgeschwindigkeit" nannte man diesen Versuch. Denn Fizeau und Foucault, die erst zusammen gearbeitet hatten, trennten sich dann, weil sie über den Antrieb des Spiegels — ob Turbine, ob Uhrwerk — nicht einig werden konnten. Fieberhaft arbeitete nun jeder auf seine Weise. Aber Fizeau hatte Pech, lächerliche experimentelle Schwierigkeiten, wie ein schadhaftes Zinkrohr, warfen ihn zurück, und so konnte Foucault wenige Tage früher die entscheidende Mitteilung an die Académie







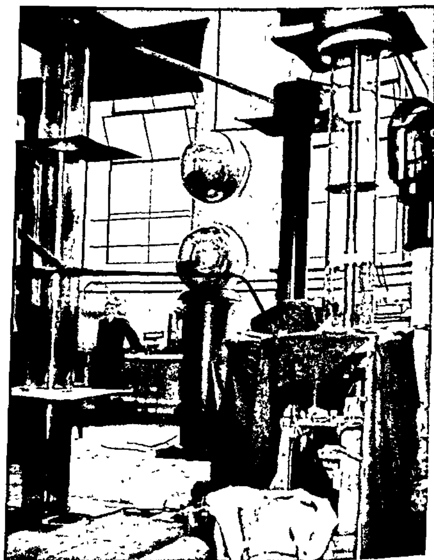






Brüche und Johannson

Aufnahme mit dem Elektronen Mikroskop
Die fortschreitende Zerstörung einer Glühkathode



Atomzertrümmerungs-Laboratorium
von Cockroft und Walton in Cambridge

Française machen. Der Drehspiegelversuch ist in Amerika von Michelson in immer wiederholten Experimenten zur höchsten Vollkommenheit gebracht worden. Eine Strecke von 65 km — zwischen zwei Berggipfeln — wurde von einem Heer von Geometern in staatlichem Auftrag auf 5 cm genau ausgemessen. Die Spiegelkonstruktion, das Antriebsgebläse, alles wurde aufs höchste verfeinert. Man schickte das Licht auch durch lange Röhren voll Wasser oder Schwefelkohlenstoff und maß in ihnen die Geschwindigkeit. Es waren Großversuche, wie sie nur Amerika und nur der unübertreffliche Experimentator Michelson anstellen konnte. Aber dafür weiß Michelson auch den Wert der Lichtgeschwindigkeit auf wenige Kilometer genau: sie beträgt 299796 km/sec.

Und dies sind seine eigenen Worte:

„Die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit ist eine der reizvollsten Aufgaben der Physik — wegen ihrer fast unvorstellbaren Größe gepaart mit der enormen Genauigkeit, mit der sie gemessen werden kann.
A. A. Michelson."

Wenn es Ihnen recht ist, wollen wir Michelson etwas kränken: Wir wollen uns um sein Ergebnis nicht kümmern und stets mit dem abgerundeten Wert 300 000 km/sec rechnen — freilich: ‚Im tiefsten Innern unserer Schuld bewußt.'







Bewegung und Geschwindigkeit

Auf der Rennbahn jagen die Autos vorbei, zehn, zwölf in einem Rudel, langgestreckte, niedrige, feingliedrige Maschinen, deren einzige Freude und Bestimmung das Jagen ist. Heran, vorbei — kaum daß der Blick sie festhält. Langsam und ruhig zieht oben ein Flugzeug seine Bahn durch den wolkenlosen Himmel. Langsam? Du lieber Gott — es fliegt doppelt so schnell wie die jagenden Autos. Jeder, der einmal im Flugzeug geflogen ist, weiß, wie die Maschine über der kartengleich ausgebreiteten Landschaft stillzustehen scheint und wie sie beim Niedergehen auf einmal über das Rollfeld rast! Da, wenn es fast schon zu spät ist, merken wir plötzlich die Geschwindigkeit. Jeder hat es schon erlebt, der in der Eisenbahn auf einem Bahnhof hielt und einen zweiten Zug neben sich halten sah, dies Gefühl: „Nanu, fahren wir schon los?" Dabei war bloß der andere Zug langsam angefahren.

Mit einem Wort — wir haben keinen Sinn für **absolute** Geschwindigkeiten. Wir können nur dann eine Bewegung feststellen, wenn eine feststehende Umwelt vorhanden ist, Telegrafenstangen, eine jagende Chaussee. Dies ist die nackte Wahrheit: wir haben nur ein Gefühl für die **Bewegung gegenüber irgend etwas**; die Mechanik, die theoretische Physik auch. Auch ihr fehlt

Sätze lassen sich hinschreiben, allenfalls noch nachdenken, aber sie sind vollkommen unanschaulich. Der Raum ist das leere Nichts, in dem das Etwas, die Sterne, die Materie eingebettet ist.

Aber läßt sich die Bewegung gegen das Nichts messen? Die Mechanik versagt, und wenn wir aufrichtig und konsequent nachdenken, versagt auch unser Denken. Wir müssen schließen, daß der absolute Raum Newtons und Kants sich physikalisch nicht greifen läßt. Aber da kommt die Physik der naiven Vorstellung auf höchst überraschende Weise zu Hilfe.

Unbekümmert über die philosophische Erwägung, ob so etwas überhaupt denkbar sei, durcheilt das Licht den leeren Raum. Mehr noch — es führt dort eine Wellenbewegung in einem elektromagnetischen Feld aus. Wir rufen wie Archimedes ein begeistertes „Heureka" aus. Das elektrische Feld ist doch zweifellos eine physikalische Wirklichkeit — und mit einem Schlag ist damit der leere Raum greifbar geworden, aus einer spukhaften Unwesenheit zu einem meßbaren, physikalisch wohl gekennzeichneten Tatbestand aufgerückt. Gewiß, es stände der hartgesottenen Philosophie immer noch frei, uns zu sagen: „Das, was du so obenhin ‚leeren Raum' nennst, ist also gar nicht leer? Es *enthält elektrische Felder*? Dann entferne bitte zuerst diese Felder, bevor du von einem leeren Raum sprichst!" Der Einwand ist kaum zu widerlegen — es sei denn durch die Tatsachen. Der absolut leere Raum dieses überkritischen Philosophen, selbst wenn er denkbar wäre — woran man freilich zweifeln wird — dieser Raum kommt in der Natur nicht vor und ist dementsprechend physikalisch völlig uninteressant, physikalisch unwirklich. Unser Raum, der Weltraum, besteht nur zusammen mit der Möglichkeit, elektrische Felder aufzunehmen. Es ist nicht möglich, beide zu trennen, und so wird man wohl am besten sagen: der Raum und der Träger des Lichtfeldes, der Äther, sind ein und dasselbe. Man schiebt damit dem Raum eine neue Eigenschaft zu, aber eine physikalisch greifbare, und erhält damit gleichzeitig die Möglichkeit, ihn selbst physikalisch zu fassen.

der Sinn für die absolute Bewegung. Es ist den mechanischen Gesetzen ganz gleichgültig, ob ein Flugzeug durch die stehende Luft fliegt, oder ob es steht und von vorne mit einem Sturmwind angeblasen wird — wie es der Strömungsforscher im Windkanal macht. Sie liefern in beiden Fällen das gleiche Ergebnis. Die Newtonsche Grundgleichung, das Gerippe der Physik, kennt keine absoluten Geschwindigkeiten; sie achtet nur auf relative Bewegungen. Man nennt dies das Relativitätsprinzip der Mechanik.

Absolute Geschwindigkeiten — das sagt sich so hin. So verdächtig glatt. Was will das bedeuten, absolute Geschwindigkeit? Geschwindigkeit im Raum offenbar, im Weltraum — und in unserem Geist spukt dabei eine verschwommene Vorstellung von einem dunklen, leeren Weltall, durch das wir eilen. Vielleicht denkt mancher an die Sonne dabei, von der man sagt, daß sie mit 20 km/sec ihre Bahn innerhalb des Milchstraßensystems durchjagt. Aber täuschen wir uns nicht — auch dies ist eine Bewegung gegenüber etwas — gegenüber dem Sternenhimmel. Man mißt den Ort der Fixsterne, ihre scheinbare Verschiebung, man bestimmt aus dem Licht, das sie uns senden, die scheinbaren Geschwindigkeiten der Sterne; und alle diese Beobachtungen lassen sich am *einfachsten* in die Aussage zusammenfassen: Die Sonne bewegt sich auf einer Bahn im Milchstraßensystem mit 20 km/sec; auch nur eine Relativbewegung! Und wenn wir ehrlich genug sind, müssen wir zugeben, daß die Frage nach einer „absoluten Geschwindigkeit" sinnlos ist. Wie soll man sich eine Bewegung im Nichts denken — wenn eben nichts da ist, woran man sie messen kann? Ich sehe *nicht*, was das bedeuten sollte. Vielleicht bin ich schon physikalisch verseucht? Ich gebe freilich zu, daß auch ich eine unbegründet lebendige Vorstellung vom Raum habe, vom „absoluten Raum" *Newtons*. Eine „Form unserer Anschauung", sagte Kant. Wirklich, wir können nicht anders, als uns „Gegenstände im Raum" denken. Gegenstände „außerhalb des Raums", „nicht im Raum" — solche

Sätze lassen sich hinschreiben, allenfalls noch nachdenken, aber sie sind vollkommen unanschaulich. Der Raum ist das leere Nichts, in dem das Etwas, die Sterne, die Materie eingebettet ist.

Aber läßt sich die Bewegung gegen das Nichts messen? Die Mechanik versagt, und wenn wir aufrichtig und konsequent nachdenken, versagt auch unser Denken. Wir müssen schließen, daß der absolute Raum Newtons und Kants sich physikalisch nicht greifen läßt. Aber da kommt die Physik der naiven Vorstellung auf höchst überraschende Weise zu Hilfe.

Unbekümmert über die philosophische Erwägung, ob so etwas überhaupt denkbar sei, durcheilt das Licht den leeren Raum. Mehr noch — es führt dort eine Wellenbewegung in einem elektromagnetischen Feld aus. Wir rufen wie Archimedes ein begeistertes „Heureka" aus. Das elektrische Feld ist doch zweifellos eine physikalische Wirklichkeit — und mit einem Schlag ist damit der leere Raum greifbar geworden, aus einer spukhaften Unwesenheit zu einem meßbaren, physikalisch wohl gekennzeichneten Tatbestand aufgerückt. Gewiß, es stände der hartgesottenen Philosophie immer noch frei, uns zu sagen: „Das, was du so obenhin ‚leeren Raum' nennst, ist also gar nicht leer? Es enthält elektrische Felder? Dann entferne bitte zuerst diese Felder, bevor du von einem leeren Raum sprichst!" Der Einwand ist kaum zu widerlegen — es sei denn durch die Tatsachen. Der absolut leere Raum dieses überkritischen Philosophen, selbst wenn er denkbar wäre — woran man freilich zweifeln wird — dieser Raum kommt in der Natur nicht vor und ist dementsprechend physikalisch völlig uninteressant, physikalisch unwirklich. Unser Raum, der Weltraum, besteht nur zusammen mit der Möglichkeit, elektrische Felder aufzunehmen. Es ist nicht möglich, beide zu trennen, und so wird man wohl am besten sagen: der Raum und der Träger des Lichtfeldes, der Äther, sind ein und dasselbe. Man schiebt damit dem Raum eine neue Eigenschaft zu, aber eine physikalisch greifbare, und erhält damit gleichzeitig die Möglichkeit, ihn selbst physikalisch zu fassen.

Mit 30 km/sec durchrast die Erde ihre Bahn um die Sonne. Durch den Raum, durch den Äther fliegt sie; frei und unmateriell strömt der — ruhend gedachte — Äther an ihr vorbei: Ein Äthersturm bläst also ständig durch unsere Laboratorien. Einerlei, wie die wahre Bewegung der Sonne gegenüber dem ruhenden Äther sein mag; die Erde auf ihrer Kreisbahn läuft einmal im gleichen Sinne mit ihr, ein halbes Jahr später im entgegengesetzten. Der Ätherwind muß sich daher bei optischen oder elektrischen Experimenten bemerkbar machen. Man muß die Bewegung der Erde gegen den Äther, die fast schon aufgegebene absolute Bewegung messen können.

Der Michelson-Versuch

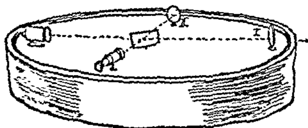
Maxwell hat als erster diesen Hoffnungsschimmer wahrgenommen. Seine Ideen hat der geniale Experimentator Michelson aufgegriffen. „Über die Bewegung der Erde gegen den Lichtäther" hieß seine Untersuchung. Es gibt wohl kaum ein zweites physikalisches Experiment, das ähnliche Berühmtheit erlangt hat wie der Michelson-Versuch — und das so heiß umstritten wurde. Vielleicht erklärt sich das daraus, daß dieser Versuch eine scharf zugespitzte Dramatik in sich barg; er stellte eine kurze, unmißverständliche Frage an die Natur, die unerbittlich nur die Antwort „ja" oder „nein" vertrug und keine Ausflüchte zuließ. Wie der Staatsanwalt das ganze Gebäude seines Plädoyers auf einen einzigen entscheidenden Punkt hin aufbaut und plötzlich diese schicksalhafte Frage hinausschleudert, so hatte Michelson seinen Versuch geplant. Der Angeklagte machte es ihm nicht leicht. Er schien seine Spur mit Vorbedacht verwischt zu haben.

Wenn ich einen Versuch „mit dem Äthersturm" und einen zweiten „gegen den Äthersturm" anstelle, so ergibt eine Rechnung des berühmten holländischen Forschers Hendrik Antoon Lorentz, daß sich beide Ergebnisse um den zehnmillionsten Teil, um ein

hunderttausendstel Prozent unterscheiden. Der Fall schien hoffnungslos zu liegen. Wer wollte solche Unterschiede noch messen? Die Erde mußte auf Michelson mit seiner übersteigerten Experimentierkunst warten, ehe sie Auskunft über ihren Bewegungszustand erhoffen konnte.

Ich will Ihnen eine kleine Geschichte erzählen, mit der Sie Ihre Freunde ärgern können. Ein Dampfer fährt von Hamburg nach New York (6000 km) und zurück, mit einer Stundengeschwindigkeit von 10 km. Ein zweiter fährt hin mit 5 km, zurück, ohne Ballast, mit 15 km Geschwindigkeit. Welcher macht früher wieder in Hamburg fest? Bitte, sagen Sie nicht: beide gleichzeitig. Der erste braucht zweimal 600 = 1200 Stunden; der zweite für den Hinweg 1200, für den Rückweg 400, zusammen 1600 Stunden. Er hat den Zeitverlust der Hinreise nicht aufholen können.

Lassen Sie ein Ruderboot auf dem Rhein erst hundert Meter stromaufwärts und dann dieselbe Strecke mit dem Strom zurück rudern. Und schicken sie ein zweites gleichschnelles Boot hundert



Meter quer über den Fluß und zurück. Obwohl dies zweite Boot sogar ständig „vorhalten" muß, um nicht abgetrieben zu werden, ist es eher zurück als das erste, weil auch hier der Zeitverlust der langsamen Gegenstromfahrt nicht wieder aufgeholt wird. Das aber gerade ist das Prinzip des Michelson-Versuchs. Michelson läßt einen Lichtstrahl auf eine Glasscheibe fallen, und nun wird der Strahl — wie wir vom Fensterglas (S. 165) wissen — in zwei Strahlen,

Mit 30 km/sec durchrast die Erde ihre Bahn um die Sonne. Durch den Raum, durch den Äther fliegt sie; frei und unmateriell strömt der — ruhend *gedachte* — Äther an ihr vorbei: Ein Äthersturm bläst also ständig durch unsere Laboratorien. Einerlei, wie die wahre Bewegung der Sonne gegenüber dem ruhenden Äther sein mag; die Erde auf ihrer Kreisbahn läuft einmal im gleichen Sinne mit ihr, ein halbes Jahr später im entgegengesetzten. Der Ätherwind muß sich daher bei optischen oder elektrischen Experimenten bemerkbar machen. Man muß die Bewegung der Erde gegen den Äther, die fast schon aufgegebene absolute Bewegung messen können.

Der Michelson-Versuch

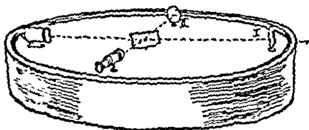
Maxwell hat als erster diesen Hoffnungsschimmer wahrgenommen. Seine Ideen hat der geniale Experimentator Michelson aufgegriffen. „Über die Bewegung der Erde gegen den Lichtäther" hieß seine Untersuchung. Es gibt wohl kaum ein zweites physikalisches Experiment, das ähnliche Berühmtheit erlangt hat wie der Michelson-Versuch — und das so heiß umstritten wurde. Vielleicht erklärt sich das daraus, daß dieser Versuch eine scharf zugespitzte Dramatik in sich barg; er stellte eine kurze, unmißverständliche Frage an die Natur, die unerbittlich nur die Antwort „ja" oder „nein" vertrug und keine Ausflüchte zuließ. Wie der Staatsanwalt das ganze Gebäude seines Plädoyers auf einen einzigen entscheidenden Punkt hin aufbaut und plötzlich diese schicksalhafte Frage hinausschleudert, so hatte Michelson seinen Versuch geplant. Der Angeklagte machte es ihm nicht leicht. Er schien seine Spur mit Vorbedacht verwischt zu haben.

Wenn ich einen Versuch „mit dem Äthersturm" und einen zweiten „gegen den Äthersturm" anstelle, so ergibt eine Rechnung des berühmten holländischen Forschers Hendrik Antoon Lorentz, daß sich beide Ergebnisse um den zehnmillionsten Teil, um ein

hunderttausendstel Prozent unterscheiden. Der Fall schien hoffnungslos zu liegen. Wer wollte solche Unterschiede noch messen? Die Erde mußte auf Michelson mit seiner übersteigerten Experimentierkunst warten, ehe sie Auskunft über ihren Bewegungszustand erhoffen konnte.

Ich will Ihnen eine kleine Geschichte erzählen, mit der Sie Ihre Freunde ärgern können. Ein Dampfer fährt von Hamburg nach New York (6000 km) und zurück, mit einer Stundengeschwindigkeit von 10 km. Ein zweiter fährt hin mit 5 km, zurück, ohne Ballast, mit 15 km Geschwindigkeit. Welcher macht früher wieder in Hamburg fest? Bitte, sagen Sie nicht: beide *gleichzeitig*. Der erste braucht zweimal 600 = 1200 Stunden; der zweite für den Hinweg 1200, für den Rückweg 400, zusammen 1600 Stunden. Er hat den Zeitverlust der Hinreise nicht aufholen können.

Lassen Sie ein Ruderboot auf dem Rhein erst hundert Meter stromaufwärts und dann dieselbe Strecke mit dem Strom zurück rudern. Und schicken sie ein zweites gleichschnelles Boot hundert



Meter quer über den Fluß und zurück. Obwohl dies zweite Boot sogar ständig „verhalten" muß, um nicht abgetrieben zu werden, ist es eher zurück als das erste, weil auch hier der Zeitverlust der langsamen Gegenstromfahrt nicht wieder aufgeholt wird. Das aber gerade ist das Prinzip des Michelson-Versuchs. Michelson läßt einen Lichtstrahl auf eine Glasscheibe fallen, und nun wird der Strahl — wie wir vom Fensterglas (S. 165) wissen — in zwei Strahlen,

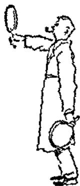
einen durchgelassenen (I) und einen reflektierten (II) geteilt. Strahl I wird in Richtung der Erdbewegung, d. h. gegen den Äthersturm durch das Laboratorium geschickt, fällt auf einen Spiegel und kehrt zur Glasscheibe zurück, von wo er in ein Fernrohr reflektiert wird. Strahl II läuft die gleiche Entfernung quer zum Ätherwinde; auf einen Spiegel, zur Glasplatte zurück und — sie durchsetzend — ebenfalls in das Fernrohr. Auch hier muß Strahl II früher eintreffen. Michelson erhält im Fernrohr ein System von hellen und dunklen Interferenzstreifen. Wenn er den ganzen Apparat, das ‚Michelsonsche Interferometer' mitsamt den Spiegeln um 90° dreht, so vertauschen beide Strahlen ihre Rollen, und nun muß Strahl I Sieger bleiben. Bei der Drehung des Interferometers müssen die Streifen im Gesichtsfeld des Fernrohrs wandern.

Es war ein Meisterstück der experimentellen Physik und von unerhörter Empfindlichkeit. Die von Lorentz errichtete Zehnmillionstel-Schranke wurde weit überschritten: Ein Tausendmillionstel würde der Apparat mit Sicherheit anzeigen.

Durch mehrfache Spiegelung wurde der Lichtweg auf 11 m gebracht. Der ganze Apparat war auf einer großen Steinplatte montiert und schwamm in einem Quecksilbertrog, um eine völlig glatte, erschütterungsfreie Drehung zu ermöglichen. Wochen- und monatelange Arbeit erforderte die genaue Aufstellung von Spiegeln und Fernrohr.

Sämtliche Straßenbahnen in Chikago standen still, als Michelson seinen Versuch begann, um jede Erschütterung der überempfindlichen Anlage zu vermeiden. Eine Stadt hielt den Atem an — die Technik und das lärmende Leben beugten sich einen Moment vor der Wissenschaft, vor dem reinen Erkenntnistrieb, zu wissen, wie die Erde sich im Raum bewegt. Michelson schaute in das Fernrohr auf die gelben und schwarzen Lichtbänder. Der Felsblock, auf dem der Apparat befestigt war, drehte sich glatt und reibungslos — und die Streifen standen wie festgenagelt still. Das größte Experiment der Physik — mißlungen!

Ich möchte Sie bitten, sich Michelsons Versuch noch einmal „von draußen“ anzusehen — sagen wir von einem bequemen, welchen Platz auf der Sonne aus. Wir sehen die Erde mit 30 km/sec in ihrer Bahn dahineilen. Daran ist nicht zu rütteln — es ist eine meßbare Relativbewegung zweier Körper: Erde und Sonne. Wir sehen, daß beide Lichtstrahlen gleichzeitig ankommen. Daran ist nicht zu rütteln. Aber schließlich, von unserem Sonnenplatz aus sehen wir ganz deutlich, daß das Licht die Erde und den Spiegel I zunächst überholen muß, ihm nachläuft und dann, nach der Spiegelung, ihm entgegenläuft und dabei im Endresultat einen längeren Weg zurücklegt als der querlaufende Strahl, nicht wahr? Ist auch daran nicht zu rütteln? Ein großes Fernrohr her! Und nun sehen wir: Der Spiegelarm I ist um ein weniges näher an das Fernrohr herangerutscht — der Block hat sich in der Richtung der Erdbahn zusammengezogen; der Längsarm ist kürzer als der Querarm. Und diese Verkürzung hat, als habe es ein böser Geist so ausgerechnet, haargenau das nötige Maß, um beide Lichtzeiten gleichwerden zu lassen: Sie allein verhindert, daß Michelson etwas über die Bewegung der Erde erfährt. Man nennt diese Verkürzung Fitz-Gerald-Lorentz-Kontraktion, weil Fitz-Gerald und H. A. Lorentz zuerst auf den Gedanken gekommen sind, den negativen Ausfall des Michelson-Versuchs durch eben diese Kontraktion des Felsblocks zu erklären.



Armer Michelson! War er blind? Er hat offenbar nichts von dem peinlichen Mißgeschick der Lorentz-Kontraktion bemerkt, nichts davon, daß bei der Drehung seines Spiegelkreuzes sich der Querarm in dem Maße, wie er in die Erdrichtung hineingedreht wurde, langsam verkürzte und der Längsarm entsprechend zu seiner vollen Länge anwuchs?

Wir selbst sind blind, wenn wir so fragen. Unsere überraschende Beobachtung ist wohl richtig — aber unser Verdammungsurteil war übereilt. Denn selbstverständlich ist nicht ausgerechnet

einen durchgelassenen (I) und einen reflektierten (II) geteilt. Strahl I wird in Richtung der Erdbewegung, d. h. gegen den Äthersturm durch das Laboratorium geschickt, fällt auf einen Spiegel und kehrt zur Glasscheibe zurück, von wo er in ein Fernrohr reflektiert wird. Strahl II läuft die gleiche Entfernung quer zum Ätherwinde; auf einen Spiegel, zur Glasplatte zurück und — sie durchsetzend — ebenfalls in das Fernrohr. Auch hier muß Strahl II früher eintreffen. Michelson erhält im Fernrohr ein System von hellen und dunklen Interferenzstreifen. Wenn er den ganzen Apparat, das ‚Michelsonsche Interferometer' mitsamt den Spiegeln um 90° dreht, so vertauschen beide Strahlen ihre Rollen, und nun muß Strahl I Sieger bleiben. Bei der Drehung des Interferometers müssen die Streifen im Gesichtsfeld des Fernrohrs wandern.

Es war ein Meisterstück der experimentellen Physik und von unerhörter Empfindlichkeit. Die von Lorentz errichtete Zehnmillionstel-Schranke wurde weit überschritten: Ein Tausendmillionstel würde der Apparat mit Sicherheit anzeigen.

Durch mehrfache Spiegelung wurde der Lichtweg auf 11 m gebracht. Der ganze Apparat war auf einer großen Steinplatte montiert und schwamm in einem Quecksilbertrog, um eine völlig glatte, erschütterungsfreie Drehung zu ermöglichen. Wochen- und monatelange Arbeit erforderte die genaue Aufstellung von Spiegeln und Fernrohr.

Sämtliche Straßenbahnen in Chikago standen still, als Michelson seinen Versuch begann, um jede Erschütterung der überempfindlichen Anlage zu vermeiden. Eine Stadt hielt den Atem an — die Technik und das lärmende Leben beugten sich einen Moment vor der Wissenschaft, vor dem reinen Erkenntnistrieb, zu wissen, wie die Erde sich im Raum bewegt. Michelson schaute in das Fernrohr auf die gelben und schwarzen Lichtbänder. Der Felsblock, auf dem der Apparat befestigt war, drehte sich glatt und reibungslos — und die Streifen standen wie festgenagelt still. Das größte Experiment der Physik — mißlungen!

He — ihr seid flach!

Ein Flieger schaukelte gemütlich durch den Raum. Nicht eben langsam, 259000 km/sec; indessen seine Geschwindigkeit störte ihn nicht weiter — er merkte ja nichts von ihr — und nun sah er von weitem die Erde auf sich zukommen. Die Erde ist eine Kugel, so hatte er es in der Schule gelernt. Konnte das dort die Erde sein? Ein Osterei war es, ein auf die Spitze gestelltes Ei, im Gürtel enorm zusammengeschrumpft. Nun kam er näher, nun unterschied er Dampfer, Autos und Menschen. Und plötzlich begann er zu lachen. Er lachte Tränen. Hemmungslos, es schüttelte ihn hin und her, und er winkte seinen Gefährten heran. Schau dir dies Volk an! sagte er. Und dann beugten sie sich aus dem Fenster und riefen, noch immer grinsend, den winkenden Menschen unten zu: He — ihr seid flach!

Und so war es. Eine Flunderwelt schienen sie zu sehen, flache, engbrüstige Gestalten, wandelnde Plättbretter, gingen die Menschen über die Erde. Aber wie war diese Erde überhaupt beschaffen? So unsagbar verrückt gebaut. Breite Alleen zogen sich durch die Stadt in der Flugrichtung. Enge, halb so breite Gassen gingen quer davon ab. Platte Gesichter, wohin du schaust, in den Hauptstraßen. Sieh dir bloß die Ladentüren und Fenster an! Flach, hochgezogen, wie lauter gotische Spitzbögen. Und die Omnibusse — breit gedrückt, als hätten sie einen Schlag auf den Kühler erhalten. Ja, merken die das nicht? Paß auf, jetzt wirst du was erleben. Eine breit ausgerichtete Reihe von platten Soldaten marschierte durch die Straße, ihre ganze Breite einnehmend, 20 nebeneinander. Sie wollen rechts hinein in die enge Gasse? Wie werden sie das machen? Ich . . . Aber dann blieb dem Flieger der Mund vor Verwunderung offen stehen — denn die Soldaten schwenkten rechts um und marschierten glatt durch die enge Straße. Sie hatten sich bei der Rechtsschwenkung zusammengezogen. Aus Quer-Plättbrettern waren sie Längs-Plättbretter geworden. Spitze Nasen,

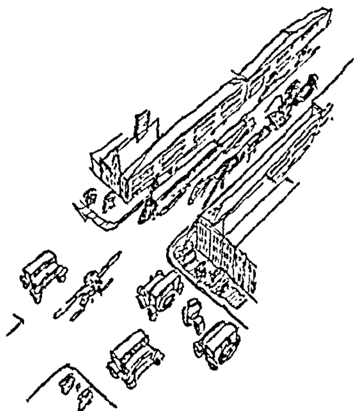
Michelsons Felsplatte aus dem kosmischen Geschehen herausgegriffen und mit dieser übernatürlichen Kontraktionsfähigkeit begabt, sondern es geht allen Dingen auf der Erde so. Wenn wir näher zusehen, werden wir erkennen, daß sich Michelson selbst in dem gleichen Maß verkürzt hat. Sein rechter Arm, mit dem er jetzt in der Längsrichtung zeigt, ist kürzer als der linke, quer dazu gestellte. (Wäre es nicht so, dann brauchte er nur je einen Spiegel in die Hand zu nehmen und könnte, sich selbst als „Michelsonsches Interferometer" bezeichnend, einen Versuch mit positivem Ergebnis herbeizaubern.) Ein Krüppel? Michelson hätte den Vorwurf mit Entrüstung zurückgewiesen, und mit vollem Recht. Denn allen Menschen und allen Dingen auf der Erde geht es so. Niemals freilich werden sie es wahrnehmen. Auch ihr Auge beispielsweise verkürzt sich in gleichem Maße und bleibt so im richtigen Verhältnis zum Netzhautbild. Alle irdischen Zollstöcke und Metermaße, Häuser, Tulpen und Elefanten — sie alle leiden, von der Sonne aus gesehen, an der gleichen Verkürzung. Wird man sie deshalb als Krüppel bezeichnen?

Als England seine Valuta senkte und das Pfund nur noch 13 Mark wert war, merkte kein Mensch in Großbritannien etwas davon. Zehn Zigaretten kosteten immer noch 6 Pence und ein Rolls Royce 2000 Pfund. Von außen gesehen freilich, von Deutschland oder Amerika, war eine fühlbare Entwertung, eine „Verkürzung" des Geldes eingetreten. Ein Land mit ebenfalls entwerteter Valuta merkt nur eine geringere Verschiebung der relativen Preise. So ist es mit der Inflation der Maßstäbe in der Relativitätstheorie. Ein Marsmensch, für den die Erde sich gerade langsamer bewegt als für uns Sonnenmenschen, sieht nur eine geringere Verkürzung. Mit anderen Worten: Die Verkürzung hängt von der Relativgeschwindigkeit ab — je größer die Geschwindigkeit, desto größer die Verkürzung. Bei 259000 km/sec hat sich ein Meterstab auf ½ m zusammengezogen. Bei Lichtgeschwindigkeit wird er zu einem Punkt.

solchen Welt sollte leben, existieren, vielleicht gar glücklich sein können! Und doch schien es so. Denn unten sammelte sich ein Haufen Volks auf dem großen Platz, Menschen, die von der Ankunft des Expreßflugzeugs gehört hatten, und starrten hinauf. Und diese Menge lachte, sie tobte und gestikulierte — furchtbar sah es aus, wie sich die Arme und Gesichter verkürzten und verzerrten, wenn sie in der Luft herumfuchtelten. Und sie brüllten nach oben. Gespannt horchten die Flieger auf die unverständlichen Worte — und schließlich brach sich ein einzelner lauter Schrei Bahn, von einem kleinen stumpfnasigen platten Bengel heraufgebrüllt: He — ihr seid flach!

Und so war es auch. Die Menschen auf dem dichtgefüllten Platz sahen ein merkwürdiges Flugzeug ankommen — ein Flugzeug, das von Riesenhand zusammengestaucht schien. Es schien auf die Hälfte seiner Länge reduziert, und das Seitensteuer saß beinahe direkt an den Flügeln. Die Menschen aber in ihm waren — platt. Auch sie zeigten den Kautschuk-Charakter, auch sie hatten verschiedene Form, je nachdem, ob sie in der Flugrichtung oder quer dazu standen. Kurz, die Menschen auf der Erde hielten sich für normal und die anderen für verrückt. Und nicht nur das — diese beiden Flieger schienen bei aller Geschwindigkeit ihres Flugzeugs von einer unbegreiflichen Trägheit und Müdigkeit erfüllt. Ganz langsam bewegten sie sich, alle Handlungen brauchten die doppelte Zeit. Eine Grammophonplatte, die auf der Erde 3½ Minuten Spieldauer hat, erforderte dort sieben Minuten, wie es uns schien. Die Verduhr, die um 12 Uhr mit unserer Rathausuhr gestimmt hatte, war eine Stunde später erst auf 12.30 angelangt. Es waren nicht nur Kautschuk-Menschen — sie waren noch dazu durch die Zeitlupe gesehen. Ist es nötig hinzuzufügen, daß die Flieger an uns dieselben Beobachtungen machten? Daß für sie unsere Zeit langsamer ging? Daß unsere Autobusse mit zwanzig statt mit vierzig Kilometer in der Stunde zu fahren schienen? Es war kein erfreuliches Zusammentreffen — und beide Teile atmeten auf, als das jagende Flugzeug

lange schlenkernde Arme und Beine — wie aus Holz geschnitzte Spielsoldaten, wie die flachen, unperspektivischen Ägypter auf den alten Malereien. Und jetzt fiel es den beiden Fliegern erst auf: *diese Welt war aus Gummi. Flundern aus Kautschuk.* Es war fast zu viel. Da kam so ein breiter, kurzer Omnibus; er bog um die

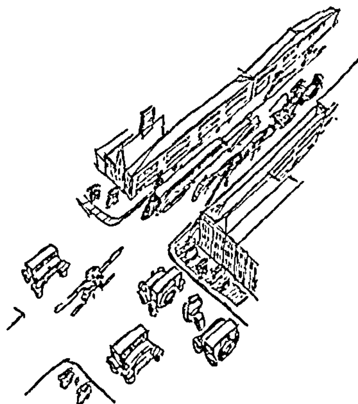


Ecke, zog sich ziehharmonikaartig in die Länge — und wurde zu einem Bandwurmgefährt. Ein breiter, fetter Mann kam auf sie zu mit kurzen Trippelschritten — und ging als schmaler Schatten mit langen Beinen rechts um die Ecke von dannen. Ein Schutzmann regelte den Verkehr; der Ärmste hatte zwei verschiedene Arme, und wenn er sich drehte, zogen sie sich zusammen und dehnten sich aus wie Fühlhörner einer Schnecke. Kaum glaublich, daß man in einer

solchen Welt sollte leben, existieren, vielleicht gar glücklich sein können! Und doch schien es so. Denn unten sammelte sich ein Haufen Volks auf dem großen Platz, Menschen, die von der Ankunft des Expreßflugzeugs gehört hatten, und starrten hinauf. Und diese Menge lachte, sie tobte und gestikulierte — furchtbar sah es aus, wie sich die Arme und Gesichter verkürzten und verzerrten, wenn sie in der Luft herumfuchtelten. Und sie brüllten nach oben. Gespannt horchten die Flieger auf die unverständlichen Worte — und schließlich brach sich ein einzelner lauter Schrei Bahn, von einem kleinen stumpfnasigen platten Bengel heraufgebrüllt: He — ihr seid flach!

Und so war es auch. Die Menschen auf dem dichtgefüllten Platz sahen ein merkwürdiges Flugzeug ankommen — ein Flugzeug, das von Riesenhand zusammengestaucht schien. Es schien auf die Hälfte seiner Länge reduziert, und das Seitensteuer saß beinahe direkt an den Flügeln. Die Menschen aber in ihm waren — platt. Auch sie zeigten den Kautschuk-Charakter, auch sie hatten verschiedene Form, je nachdem, ob sie in der Flugrichtung oder quer dazu standen. Kurz, die Menschen auf der Erde hielten sich für normal und die anderen für verrückt. Und nicht nur das — diese beiden Flieger schienen bei aller Geschwindigkeit ihres Flugzeugs von einer unbegreiflichen Trägheit und Müdigkeit erfüllt. Ganz langsam bewegten sie sich, alle Handlungen brauchten die doppelte Zeit. Eine Grammophonplatte, die auf der Erde 3½ Minuten Spieldauer hat, erforderte dort sieben Minuten, wie es uns schien. Die Borduhr, die um 12 Uhr mit unserer Rathausuhr gestimmt hatte, war eine Stunde später erst auf 12,30 angelangt. Es waren nicht nur Kautschuk-Menschen — sie waren noch dazu durch die Zeitlupe gesehen. Ist es nötig hinzuzufügen, daß die Flieger an uns dieselben Beobachtungen machten? Daß für sie unsere Zeit langsamer ging? Daß unsere Autobusse mit zwanzig statt mit vierzig Kilometer in der Stunde zu fahren schienen? Es war kein erfreuliches Zusammentreffen — und beide Teile atmeten auf, als das jagende Flugzeug

lange schlenkernde Arme und Beine — wie aus Holz geschnitzte Spielsoldaten, wie die flachen, unperspektivischen Ägypter auf den alten Malereien. Und jetzt fiel es den beiden Fliegern erst auf: diese Welt war aus Gummi. Flundern aus Kautschuk. Es war fast zu viel. Da kam so ein breiter, kurzer Omnibus; er bog um die



Ecke, zog sich ziehharmonikaartig in die Länge — und wurde zu einem Bandwurmgefährt. Ein breiter, fetter Mann kam auf sie zu mit kurzen Trippelschritten — und ging als schmaler Schatten mit langen Beinen rechts um die Ecke von dannen. Ein Schutzmann regelte den Verkehr; der Ärmste hatte zwei verschiedene Arme, und wenn er sich drehte, zogen sie sich zusammen und dehnten sich aus wie Fühlhörner einer Schnecke. Kaum glaublich, daß man in einer,

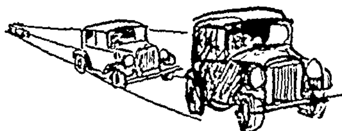
schrumpfte. Tausendfache Erfahrung hat uns gelehrt, daß das Auto scheinbar wächst, weil es sich nähert, und mit der Entfernung wieder kleiner wird. Weil wir räumlich sehen gelernt haben, vergleichen wir unbewußt das Auto mit einem Haus oder Baum in der Ferne und schätzen seine Entfernung und seine wahre Größe. Aber was heißt scheinbar? Wäre die Lichtgeschwindigkeit nicht gar so groß, wäre die Wirkung großer Geschwindigkeiten leichter zu beobachten, so daß wir nicht auf haarfein genaue Untersuchungsmethoden wie den Michelson-Versuch angewiesen wären, und hätten wir uns seit Kindesbeinen an die Lorentz-Kontraktion gewöhnt — sie wäre uns das selbstverständlichste Ding von der Welt. Vielleicht wird die Raketentechnik noch vor Ablauf dieses Jahrhunderts weit genug entwickelt sein, um die notwendigen Geschwindigkeiten zu erreichen; im Weltraum besteht ja keine vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit (außer der Lichtgeschwindigkeit, die uns die Natur selbst als zulässige Höchstgrenze gesetzt hat). Unseren Enkeln werden dann all diese komischen Geschwindigkeitsfolgen aus eigener Anschauung bekannt sein; und wenn die Neulinge, die zum erstenmal eine solche Fahrt erleben, aus dem Staunen nicht herauskommen, werden die langgedienten Weltraumkapitäne taktvoll die Hand vor den Mund halten und gelangweilt denken: Mein Gott, immer wieder dasselbe!

Die Verkürzung ist so wirklich wie irgend etwas; sie läßt sich messen, ließe sich fotografieren. Zwei Aufnahmen des Zeppelins, einmal am Ankermast, das andere Mal in Fahrt, sind nicht genau gleich groß. Freilich unterscheiden sie sich nur um 0,5 billiontel Zentimeter, und das ist nicht viel.

Physikalisch genau ausgesprochen: Ein Körper erscheint uns dann am größten, wenn er relativ zu uns in Ruhe ist. Sonst ist er in der Bewegungsrichtung verkürzt. Aber der Zustand der relativen Ruhe ist ja nur ein einziger Punkt unter den vielen möglichen Bewegungen. Ist deshalb die „Ruhelänge" wirklich? Born gibt einen höchst anschaulichen Vergleich: Wenn ich von der Wurst eine

13 Thiel

endlich, ein winziger roter Punkt, am Horizont verschwand*). Spuk? Irrsinn? Halluzination? Nichts von alledem! Das ganze Bild ist Zug für Zug physikalische, greifbare Wirklichkeit. Die Lorentz-Verkürzung ist Tatsache. Der Michelson-Versuch, der sie beweist, ist schließlich nicht aus der Welt zu schaffen. Auch die Zeitverlangsamung ist Tatsache. Zwei Amerikaner haben sie sogar experimentell nachgewiesen. Sollen wir uns darüber wundern? Aber wir wundern uns ja auch nicht, wenn ein Stab durch Wärmewirkung ausgedehnt wird. Wir wundern uns nicht, wenn die Quecksilbersäule im Thermometer steigt und sich wieder zusammenzieht — bloß eben weil die Sonne einmal scheint. Wir schließen



ein Auge und sehen ein Auto, erst klein und puppenhaft, es wird rasch größer, erfüllt das ganze Gesichtsfeld als dunkle Masse und verschwindet wieder. Niemand zweifelt — es war dasselbe Auto, das, wie durch Zaubermacht, wuchs und wieder zusammen-

*) Daß ein Flugzeug bei 259 000 km Reisegeschwindigkeit die Erde in einem Augenblick überflogen und aus den Augen verloren hat und 10 Minuten später schon an der Sonne ist, soll uns nicht stören. Wir können uns ja eine Riesenerde oder einen Riesenstern von Millionen Kilometer Durchmesser denken; oder wir geben den Fliegern ein genügend starkes Fernrohr mit, durch das sie die längst überholte Erde betrachten. Freilich werden die Piloten die immer wachsende Entfernung von der Erde bedenken müssen, und dürfen nicht vergessen, daß auch das Licht nur eine begrenzte Geschwindigkeit hat, also immer mehr Zeit von der allmählich ins Nichts zurücksinkenden Erde bis zum Flugzeug braucht. Diese „Reisezeit des Lichts" muß bei allen Beobachtungen in Anschlag gebracht werden. Wir wissen ja z. B. auch, daß das Sonnenlicht 8½ Minuten bis zur Erde braucht, daß wir also die Sonne immer nur so sehen, wie sie vor 8½ Minuten war! Die seltsamen Beobachtungen, die Lorentz-Verkürzungen und die Zeit-Verlangsamung bleiben trotzdem richtig.

negative Ausfall von Michelsons Versuch die selbstverständlichste Sache der Welt. Wenn die Lichtgeschwindigkeit in allen Richtungen gleich bleibt, kann sich bei der Drehung *natürlich nichts ändern.* Der Äthersturm wurde abgeblasen!

Das war Einsteins zweites Grundprinzip, das ‚Gesetz von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit'. Physikalisch eben durch Michelson mit denkbar größter Genauigkeit bewiesen. Und doch scheinbar ein vollkommener Unsinn. Der italienische Schnellflieger Capitano Agello möge im Heck seines Rennflugzeugs eine nach vorn gerichtete Taschenlampe aufblitzen lassen. Wir sagen: ein Lichtblitz huschte über das Flugzeug hinweg; er überholte es, das Licht fliegt 300000 km/sec, das Flugzeug aber „nur" 200 m/sec. „Für Sie, Capitano Agello, kann der Lichtblitz also nur eine Geschwindigkeit von 299999,8 km/sec gehabt haben. Stimmt es?"

„Wieso?" fragt Agello fassungslos zurück. „Um den Bewegungszustand meines Flugzeugs brauche ich mich ja nicht zu kümmern — nach Einstein. Wenn Sie wollen, werde ich die Geschwindigkeit des Lichtblitzes gegen mein Flugzeug nachmessen, obwohl ich eigentlich im Augenblick anderes zu tun habe."

Er mißt die Geschwindigkeit und findet ganz im Sinne von Einsteins zweitem Prinzip g e n a u 300000 km.

Wo steckt der Fehler? Wenn Denken und Erfahrung zusammenprallen, dann muß das Denken nachgeben. Es ist unsinnig, der Natur vorzuschreiben, wie sie sein soll — bloß damit wir sie bequem, in altgewohnter Weise denken können. Unser Denken hat sich der Natur anzupassen — das Denken hat einer gesicherten Erfahrung gegenüber nachzugeben. So steht die Existenz der Atome außer Zweifel — und ist doch niemals auszudenken.

Vielleicht ist es richtiger, statt von „Denken" von „Denkvoraussetzungen" zu sprechen. Das logisch einwandfreie Denken — von richtigen Voraussetzungen ausgehend — wird niemals zu Widersprüchen führen. Aber die Voraussetzungen, die stillschweigend untergeschoben werden, müssen sich von Zeit zu Zeit eine Nach-

Scheibe abschneide, so fällt sie verschieden groß aus, je nachdem ich schräg oder gerade schneide. Aber ist deshalb die kleinste Scheibe „wirklich“, die anderen „scheinbar“? Ist die Ruhelänge, die zufällig die größte ist, wirklich, die anderen scheinbar? Nicht die Begriffe der Theorie — diese Fragestellung ist sinnlos.

Wir kehren noch einmal zu Michelson zurück und betrachten seinen Versuch mit seinen Augen: Von einer Verkürzung sieht Michelson keine Spur, aber er findet auch keine Spur von einer absoluten Bewegung der Erde im Raum. Die Natur war befragt worden und hatte die Antwort verweigert.

Aber keine Antwort ist auch eine Antwort. Einstein war der erste, der den Mut zu diesem Gedanken fand — in der Relativitätstheorie, die eine physikalische Theorie ist, und nur von der Physik her begriffen werden kann. Ja, wir werden sehen, daß sie sich enger als jede Theorie vor ihr nur an klare, physikalische Begriffe hält, und daß man ihr nicht gerecht wird, wenn man den Boden der physikalischen Tatsachen verläßt. Es war offenbar auf keine Weise möglich, eine „absolute Bewegung“, eine Bewegung gegen den Äther zu konstatieren: Es ist sinnlos, von absoluter Bewegung zu sprechen. Von jedem Körper kann ich mit gleichem Recht oder Unrecht behaupten, er „ruhe absolut im Äther“ — eben weil diese Behauptung leer ist. Nur relative Bewegungen der Körper gegeneinander haben physikalischen Sinn. Das ist Einsteins erstes Grundprinzip: Das Relativitätsprinzip.

Wenn ich aber nichts von dem Bewegungszustand des Interferometers gegen den Äther wissen kann — dann fallen auch unsere wunderschönen Berechnungen vom Äthersturm, der das Licht einmal verzögern und einmal beschleunigen sollte, in sich zusammen und müssen weggekehrt werden. Es bleibt nur eine Annahme: Die Lichtgeschwindigkeit muß immer gleich sein — ganz einerlei wie sich das Interferometer bewegt. Immer, in jeder Richtung, hat die Lichtgeschwindigkeit auf der Erde den gleichen Wert, aber nicht nur auf der Erde — überall in der Welt! Damit war der

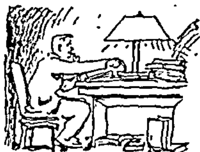
„All right — aber kannst du mir verraten, wie meine Freundin in Stockholm ihre Uhr nach meiner stellen soll?"

Hier lächelte mein Freund Ewald maliziös und sagte: „Sie scheinen noch nichts von der trefflichen Erfindung des Nauener Zeitsignals gehört zu haben. Punkt 1 Uhr wird ein Zeitsignal vom Nauener Großsender in die Welt gestrahlt. Danach können Sie und Ihre Stockholmer Freundin und tausend andere Menschen auf der Welt ihre Uhr stellen — genau gleichlaufend." „Wunderbar", meinte ich. „Der Mann im Mond auch?" „Auch der Mann im Mond", antwortete Ewald. „Freilich" — und damit nahm er meinen nächsten Einwand, sehr zu meinem Leidwesen, vorweg — „die Radiowellen brauchen eine Sekunde für die 300 000 km bis zum Mond. Der Mondmann stellt also seine Uhr beim Empfang des Zeichens auf 1 Uhr 1 Sekunde. Auf diese Weise, wenn die Reisezeit des Signals gehörig berücksichtigt wird, kann man das ganze Weltall mit der Normalzeit versehen und durch einen Blick auf die Uhr feststellen, ob Ihre Freundin in Stockholm und ein greulich gestalteter Bewohner eines Sirius-Planeten gleichzeitig etwas tun. Also — was sind das für Skrupel? Natürlich gibt es eine Gleichzeitigkeit." „Wollen wir die Gleichzeitigkeit also", fragte ich, „am Empfang von Radio- oder Lichtsignalen feststellen?" „Einverstanden." „Augenblick", sagte ich. „Jetzt komme ich im Flugzeug. Und um jetzt Ihnen einen späteren Einwand vorwegzunehmen, Ewald, bitte ich Sie, mir gleich ein Riesenflugzeug zur Verfügung zu stellen, das von Berlin bis Stockholm reicht. Der Pilot sitzt in der Mitte des Rumpfs und ist um 8 Uhr über Karlskrona, genau auf der halben Strecke zwischen Berlin und Stockholm gelegen.

Es schlägt acht — ich knipse meine Lampe an und entzünde gleichzeitig durch einen Spiegel, eine Fotozelle oder dergleichen, die Hecklampe des Flugzeugs, die sich in eben diesem Augenblick direkt über meinem Haus befindet. Beide Lampen leuchten gleichzeitig auf — dabei ist gar kein Denkproblem. Meine Stockholmer Freundin tritt in ihr Zimmer, schaltet das Licht an und durch einen ähnlichen

prüfung gefallen lassen. Es wird sich darum handeln, auch in unserem Fall dem Denkprozeß *etwas* auf den Pelz zu rücken und nach entbehrlichen oder falschen Voraussetzungen, die sich als blinde Passagiere eingeschlichen haben, zu fahnden. Einstein entdeckte sie — sein großes Verdienst — im Begriff der Zeit, im besonderen der Gleichzeitigkeit.

Was ist gleichzeitig?



Gleichzeitig? Das folgende Gespräch *hat wirklich stattgefunden,* wenn es hier auch etwas gekürzt und geordnet niedergeschrieben wurde. Teilnehmer waren meine Freunde Ewald, Peter und ich selbst. Ich begann: „Ich muß euch Nichtphysiker bitten, mir bei der Erörterung eines schwierigen Problems zu helfen. Nehmt an, ich *sitze in Berlin am Schreibtisch; es wird dunkel; die Uhr schlägt acht,* und ich knipse meine Lampe an. Gleichzeitig tritt meine gute Freundin *in Stockholm in ihr Zimmer und dreht dort den Lichtschalter. Ein* simpler, alltäglicher Vorgang. *Hat diese Aussage einen Sinn?*"

„Selbstverständlich", wird geantwortet.



„Aber man erlaube mir ein paar Fragen. **Wieso** sind die beiden Vorgänge in Berlin und *Stockholm gleichzeitig?*"

„Welche Frage!" sagt Peter. „Man braucht nur in Stockholm auf die Uhr zu sehen, und da sie dort acht Uhr schlägt, wie in Berlin auch, so sind beide Vorgänge gleichzeitig gewesen. „Oho", wende ich ein. „Aber wenn die Uhr in Stockholm nachgeht. Meine Freundin war noch nie pünktlich..." „Dann soll sie ihre Uhr richtig stellen!"

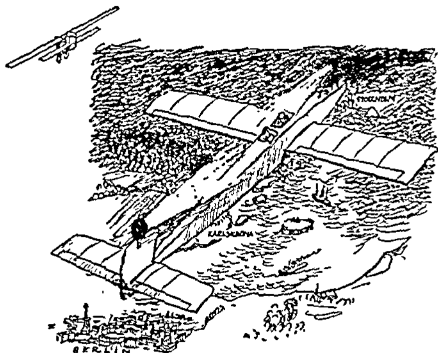
entgegen, und das Hecksignal eilte hinter ihm her. Und den Bruchteil einer Sekunde traf das Licht vom Bug früher bei ihm ein als das Hecksignal. Noch immer saß er auf seinem gepolsterten Sitz, genau in der Mitte zwischen Bug und Heck; und so notierte er in seinem Tagebuch: Karlskrona Anzünden von Bug- und Hecklampe. Buglampe etwas früher! Die beiden Signale waren nicht gleichzeitig!"

„Glatter Unsinn", rief Peter überzeugt. „Aber sie sind doch gleichzeitig. Wir haben sie ja mit Radiosignalen geprüft, und der Mann in Karlskrona fand dasselbe."

„Richtig, vollkommen richtig!" Ewald trat ihm zur Seite. „Man ist ja allerhand gewohnt von den Physikern — aber daß Sie den Fehler nicht sehen, überrascht mich doch. Das Flugzeug **bewegte** sich; nur dadurch kommt der Wirrwarr zustande. Der Pilot hat völlig unrecht, wenn er meint, beide Lampen seien nicht gleichzeitig aufgeblitzt!"

„Ewald", sagte ich vorwurfsvoll. „Was heißt denn ‚bewegen'? Ihr bewegt euch, ihr rutscht mitsamt der ganzen Erde nach hinten an dem Flugzeug vorbei. Der Pilot braucht nur *aus dem Fenster zu schauen*, um das zu ‚sehen'. Aber wollt ihr wirklich den verstaubten Begriff der absoluten Bewegung wieder aus der Mottenkiste hervorholen? Vergeßt es nicht — es gibt, physikalisch gesprochen, keine absolute Bewegung. Vergeßt den Namen Michelson nicht. Nach dem Relativitätsprinzip hat der Flieger genau so viel Recht wie ihr, zu behaupten, er stände still. Und wie ihr eure Gleichzeitigkeit definiert habt durch Licht- und Radiosignale, so er die seine. Niemals wird er dabei auf Widersprüche stoßen. Seine Definition ist hieb- und stichfest, seine ganze Physik korrekt. Wenn er mitten zwischen Bug und Heck sitzt und sieht die Buglampe früher aufleuchten — *so war es früher*. Gleichzeitigkeit ist ein relativer Begriff; er hängt von der relativen Bewegung der Gegner, von ihrer gegenseitigen Geschwindigkeit ab. Auf sonderbare Weise ist die Gleichzeitigkeit mit der räumlichen Bewegung in Zusammen-

Auf der Erde waren sie gleichzeitig



Mechanismus — wieder gleichzeitig — eine Lampe am Bug des Flugzeugs. Auch kein Problem. Was geschieht?"

„*Höchst einfach*", meinte Ewald; „*die Lichtblitze aus Berlin* und Stockholm treffen in Karlskrona zusammen, weil Karlskrona in der Mitte liegt. Ein Karlskronaer Bürger, der dort, *etwa* über zwei geneigte Spiegel, Berlin und Stockholm *ständig* überwacht, sieht beide Lichter gleichzeitig aufblitzen. Er *schaut* auf die Uhr, er zieht die Laufzeit der Lichtblitze in Betracht und *schreibt* in sein Tagebuch: Punkt acht Uhr: Gleichzeitiges Anzünden je *einer* Lampe *in* Berlin *und* Stockholm."

„Richtig. Und die Flugzeug-Lichter?" „Sie treffen sich auch in Karlskrona — genau zur selben Zeit wie die *Erdsignale*!" antwortet Peter, der endlich wieder Mut gefaßt hatte.

„Und nun", sagte ich, „der Pilot! Es schlägt acht Uhr, er ist senkrecht über Karlskrona und sieht dort auf der Rathausuhr ebenfalls: acht Uhr. Um diese Zeit machten sich die beiden Lichtsignale *auf*. Aber der Pilot flog dem Bug-Signal (von Stockholm!)

entgegen, und das Hecksignal eilte hinter ihm her. Um den Bruchteil einer Sekunde traf das Licht vom Bug früher bei ihm ein als das Hecksignal. Noch immer saß er auf seinem gepolsterten Sitz, genau in der Mitte zwischen Bug und Heck; und so notierte er in seinem Tagebuch: Karlskrona Anzünden von Bug- und Hecklampe. Buglampe etwas früher! Die beiden Signale waren nicht gleichzeitig!"

„Glatter Unsinn", rief Peter überzeugt. „Aber sie sind doch gleichzeitig. Wir haben sie ja mit Radiosignalen geprüft, und der Mann in Karlskrona fand dasselbe."

„Richtig, vollkommen richtig!" Ewald trat ihm zur Seite. „Man ist ja allerhand gewohnt von den Physikern — aber daß Sie den Fehler nicht sehen, überrascht mich doch. Das Flugzeug **bewegte** sich; nur dadurch kommt der Wirrwarr zustande. Der Pilot hat völlig unrecht, wenn er meint, beide Lampen seien nicht gleichzeitig aufgeblitzt!"

„Ewald", sagte ich vorwurfsvoll. „Was heißt denn ‚bewegen'? Ihr bewegt euch, ihr rutscht mitsamt der ganzen Erde nach hinten an dem Flugzeug vorbei. Der Pilot braucht nur aus dem Fenster zu schauen, um das zu ‚sehen'. Aber wollt ihr wirklich den verstaubten Begriff der absoluten Bewegung wieder aus der Mottenkiste hervorholen? Vergeßt es nicht — es gibt, physikalisch gesprochen, keine absolute Bewegung. Vergeßt den Namen Michelson nicht. Nach dem Relativitätsprinzip hat der Flieger genau so viel Recht wie ihr, zu behaupten, er stände still. Und wie ihr eure Gleichzeitigkeit definiert habt durch Licht- und Radiosignale, so er die seine. Niemals wird er dabei auf Widersprüche stoßen. Seine Definition ist hieb- und stichfest, seine ganze Physik korrekt. Wenn er mitten zwischen Bug und Heck sitzt und sieht die Buglampe früher aufleuchten — so war es früher. Gleichzeitigkeit ist ein relativer Begriff; er hängt von der relativen Bewegung der Gegner, von ihrer gegenseitigen Geschwindigkeit ab. Auf sonderbare Weise ist die Gleichzeitigkeit mit der räumlichen Bewegung in Zusammen-

hang gebracht worden. Zeit und Raum sind miteinander vermengt, sie sind nicht mehr unabhängig voneinander."

Wenn mein Freund Peter danach überzeugt „Unsinn" wiederholte, so läßt sich im Augenblick nichts dagegen tun. Man kann nur bedenken, daß uralte Denkgewohnheiten nicht in einem Augenblick über Bord geworfen werden können, und vielleicht noch folgendes hinzuzufügen:

Man soll philosophische und physikalische Dinge nicht vermengen; dennoch war das bis zum 20. Jahrhundert gang und gäbe. Darf ich eine Frage stellen: Wissen Sie, was *Zeit ist*? Sicher wissen Sie es. Es wird nicht ganz leicht zu definieren sein, dies etwas ‚Zeit' das mit dem ‚Fortschreiten' und mit ‚Nacheinander' etwas zu tun hat. Wir haben zwar einen Sinn dafür, eine feste, jenseits aller Zweifel stehende unbedingte Überzeugung — ein intuitives Wissen um die Zeit. Aber es läßt sich schwer erklären. Dies ist die ‚innere' Zeit.

Darf ich noch eine zweite Frage stellen: Wissen Sie, wie spät es ist? Ein Blick auf die Uhr reicht. Diesmal hatten Sie mit der physikalischen Zeit zu tun. Fragen Sie einen Physiker, was Zeit ist. Er wird ohne eine Sekunde zu zögern antworten: Zeit ist das, was durch Uhren gemessen wird: Sekunden, Tage, Jahre. Das ist eine klare, nüchterne Antwort, der keinerlei Unbestimmtheit anhaftet. Wir wissen, daß die ‚innere' und die ‚physikalische' Zeit sich unter Umständen schlecht vertragen. Man kann in einem schweren Traum mit größter Leichtigkeit ein Menschenalter durchleben, während der kleine Sekundenzeiger des Weckers noch nicht einmal den vollen Kreis durchmessen hat. Aber die Physik kümmert sich um Uhren und nicht um Träume.

Ebenso steht es mit der Gleichzeitigkeit: dieser Begriff ist für sie rein physikalischer Natur — er bezieht sich auf Vorgänge in der Welt: das Aufblitzen zweier Lampen, zweier Kanonenschüsse und dergleichen, die dem Experiment unterworfen sind. So muß auch der Begriff „gleichzeitig" aus der verschwommenen Sphäre

des gesunden Menschenverstandes herausgehoben werden und physikalisch definiert werden, so definiert werden, daß mit seiner Hilfe Naturerscheinungen widerspruchslos erklärt werden können. Man muß den letzten Rest von ‚innerer' Zeit aus ihm herauswaschen, man darf nur die ‚physikalische' Zeit zurückbehalten. Wir wissen, wie das geschieht; Gleichzeitigkeit ist ein Begriff, der durch Uhren und Radiosignale festgelegt wird. Er verliert dabei an Allgemeinheit, er verliert gewissermaßen seine metaphysischen Bestandteile, die unser Denken mit dem menschlichen Hang zur Metaphysik so gern mitschleift. Aber er gewinnt an Klarheit und Brauchbarkeit und ist darum vorzuziehen. Der alte Gleichzeitigkeitsgedanke versagt dem Michelson-Experiment gegenüber, der neue, auf die beiden Prinzipien: Das Relativitätsprinzip und das Prinzip von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit gegründet, erklärt es.

Er erklärt es so: Der Pilot im Flugzeug sah erst die Buglampe, dann die Hecklampe aufblitzen. Er weiß aber, daß beide Lampen vom Boden aus angezündet wurden, in Berlin und in Stockholm. Also muß die Flugzeugspitze Stockholm etwas früher überflogen haben, als das Heck Berlin: Die Strecke Berlin—Stockholm ist jetzt **kürzer** als mein Flugzeug, so sagt der Pilot etwas verwundert — die Strecke Berlin—Stockholm hat sich offenbar ein wenig **verkürzt**, und das kann nur daher kommen, daß sie sich bewegte, daß sie unter mir wegglitt. Bewegte Körper — in diesen Satz kleidet der Flieger seine überraschende Erkenntnis — ziehen sich in der Bewegungsrichtung ein wenig zusammen: Die Lorentz-Kontraktion.

Sie sehen — die geheimnisvolle Lorentz-Verkürzung ist nichts als eine Folge der Relativität der Gleichzeitigkeit. Sagen wir es noch einmal: Der Michelson-Versuch beweist klar und deutlich, daß die Lichtgeschwindigkeit immer gleich ist, in allen Richtungen. Michelson wird von sich aus also niemals einen Effekt erwarten können. Wenn wir aber das Michelson-Experiment von der Sonne aus beobachten — so **haben wir eine andere Zeit als**

Michelson. Was uns gleichzeitig erscheint, ist ihm nicht mehr gleichzeitig. Aber selbstverständlich halten wir unsere Zeit für richtig, wir sehen, daß Michelson mit der Erde an uns vorübergleitet, und wir sehen, daß als Folge dieser Zeitunterschiede der Längsarm sich gerade in dem notwendigen Maß verkürzt, um den Versuch zunichte zu machen.

Ich las eine Geschichte von einem Dorfpfarrer, der, durch ein paar französische Gefangene veranlaßt, begann, mit seiner Gemeinde ein paar Worte französisch zu lernen. So saßen nun die Bauern abends in der Pfarrstube und hörten sich das unverständliche Kauderwelsch an. Aber plötzlich stand einer der Bauern auf und sagte: „Was 'n Unsinn, Herr Pfarrer! Wenn die auch zehnmal ‚chaise' dazu sagen — ein Stuhl bleibt doch ein Stuhl und kein ‚chaise'." So liegt der Fall. Französisches und deutsches Sprechen oder Denken sind nur zwei Wege, die Welt zu beschreiben, zwei Formeln für denselben Inhalt. Wer wollte wie jener Bauer wirklich entscheiden, welche Art die richtige ist? Es gibt gar keinen Zweifel — nicht in der Tatsache der beiden Sprachen liegt das Dilemma, die Frage ist falsch gestellt, sie ist sinnlos. Die Frage ist falsch gestellt, wer, der Mann in Karlskrona oder der Mann im Flugzeug, im Besitz der wahren Gleichzeitigkeit ist. Beide reden zwei verschiedene physikalische Sprachen. Sie drücken ein und dasselbe Ereignis, wie das Anknipsen zweier Lampen, in verschiedenen Formeln aus, und sie können einander nur verstehen, wenn sie ein Wörterbuch besitzen — eine Möglichkeit, einen französischen Satz ins Deutsche zu übertragen, die Formel des Flugzeugmannes in die des Karlskronaers umzurechnen. Dieses physikalische Wörterbuch gibt es, diese Umrechnungsformel. Sie stammt von Hendrik Anton Lorentz, dem berühmten holländischen Theoretiker, der viele tatsächliche Ergebnisse der Relativitätstheorie vorweggenommen hat, der aber, ein konservativer Geist, Einsteins ganz neue, nüchterne Denkart nicht vorwegnehmen konnte; der sich nicht entschloß, den metaphysischen Charakter der Gleichzeitigkeit über Bord zu werfen

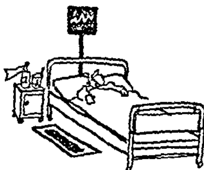
und sich mit der kahlen, schmucklosen physikalischen Definition zu begnügen; der auch bis zuletzt die wenigstens hypothetische Möglichkeit einer absoluten Zeit verteidigen wollte. Aber eben dies zeichnet die Relativitätstheorie aus, daß sie von den zwei Grundprinzipien ausgehend, die einleuchtend oder experimentell erwiesen sind, vor keiner Verallgemeinerung zurückschreckt und daß sie dann auch vor keiner Konsequenz haltmacht und überlebte Vorurteile bedenkenlos fallen läßt.

Der Mars und die Venus bewegen sich gegen die Erde. Deswegen gilt dort eine andere Zeit, und zwei Dinge, die auf der Erde gleichzeitig sind, brauchen es auf der Venus nicht zu sein. Aber wer wollte behaupten, wenn einmal in naher oder ferner Zukunft die Menschen auf die Venus fliegen werden und dort eine Kolonie einrichten, daß sie dort eine falsche Physik treiben? Die großen Naturgesetze werden für beide die gleiche mathematische Form haben. — So kann man das Relativitätsprinzip auch ausdrücken.

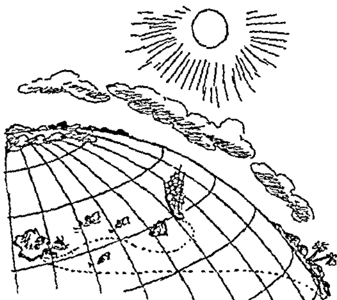
Ein dünner, farbloser Schatten erscheint, ein Dämon mit einer widerlichen Fratze, und beschließt, die neugewonnene Gleichzeitigkeits-Definition wieder zu vernichten. Er legt eine elektrische Leitung zwischen einem Schalter in Berlin und der Lampe im Stockholmer Zimmer und beschleunigt den Strom in ihr durch Zauberkräfte so sehr, daß im gleichen Augenblick, da wir den Berliner Schalter drehen, die Stockholmer Lampe aufleuchtet. Dann aber geschieht etwas Entsetzliches, und der Dämon hat allen Grund zur Schadenfreude: Denn der Mann im Flugzeug sieht ja nun erst die Lampe aufleuchten und dann den Schalter sich drehen, und die Kausalkette läuft für ihn verkehrt ab wie ein rückwärts gedrehter Film. Das ist keine vernünftige Physik mehr, und wir stellen die Forderung auf: durch unsere physikalische Gleichzeitigkeitsdefinition darf das Kausalgeschehen nicht verletzt werden. Es darf nicht möglich sein, daß ein Vorgang, von der Erde aus gesehen, Ursache, vom Flugzeug aus Folge eines zweiten ist, denn dann würde das Relativitätsprinzip als unsinnig fallen *müssen*. Wie kam der

Unsinn zustande? Durch die Überlichtgeschwindigkeit des Stroms in der Zauberleitung. Die Folgerung, die Einstein ziehen muß, wenn er sich nicht selbst ad absurdum führen will, liegt auf der Hand: Es darf in der Welt keinen solchen Dämon geben. Es darf in der Welt keine Möglichkeit geben, Fernwirkungen mit größerer als Lichtgeschwindigkeit zu übertragen. Die Lichtgeschwindigkeit ist die höchste physikalisch mögliche Geschwindigkeit der Welt. Sie bedeutet eine Grenze, eine Grenze für die Bewegung von Energie oder Materie.

Fieberkurven



Auf der kleinen Schiefertafel zu Häupten des Patienten im großen Saal des Krankenhauses hängt eine fein gezackte Kreidelinie: die Fieberkurve ist in ein „Koordinatensystem" eingezeichnet. In der Sprache der Mathematiker und Physiker: eine graphische Darstellung des Funktions-Zusammenhangs zweier Variablen, auf deutsch die Aufzeichnung der Abhängigkeit zweier Veränderlicher, Zeit und Temperatur. Wir messen alle Stunden das Fieber, tragen einen Punkt ein und verbinden alle Punkte durch eine Linie, die „Fieberkurve". Die Physik lebt von solchen Koordinatensystemen; es ist die einzige Form, in der sie sich Anschaulichkeit gestattet. Aber sie sind im Leben genau so bekannt. Man gibt für den Standpunkt eines Schiffes im Ozean zwei „Koordinaten" an: geographische Länge und Breite. Auf einer Karte, die nach diesem System in Meridiane und Breitenkreise geteilt ist, kann man dann den augenblicklichen Standort des Schiffes einzeichnen, und man erhält, wenn man Tag für Tag diese Messung vornimmt, schließlich die Schiffsorte quer über den Ozean: die „Bahnkurve" des Schiffes.



So zeichnet man sich auf der Karte auch die Bahnkurve eines Flugzeugs, das von Berlin nach Hirschberg fliegt. Aber man sieht: die zwei Angaben auf unserer Karte reichen für diesen Fall nicht aus. Der Raum ist dreidimensional, und die Karte, eine ebene Fläche, hat nur zwei Dimensionen. Wenn man ein wirkliches Bild der Bahnkurve des Flugzeugs haben will, müßte man sie mit einem dünnen Draht über der Karte nachahmen, so wie eine Berg- und Talbahn mit ihren verschlungenen Kurven und steilen Abhängen eine genaue dreidimensionale Darstellung der Bahnkurve des Wagens ist, der sie durchläuft Aber wenn wir sie betrachten und fragen: Wie hat sie der Wagen nun eigentlich durchlaufen? — so versagt diese hölzerne Kurve. Aus ihrem Bild ist nicht zu sehen, wie schnell der Wagen lief, wo er bremste, wo er stillstand und wo er schnell hinabjagte. Man brauchte zur vollständigen Erfassung dieses Vorganges eine vierte Dimension, die Zeit. Mathematisch läßt sich der Zusammenhang all dieser vier Dimensionen leicht geben: In der Gleichung ist Platz genug für vier, fünf und noch mehr Dimensionen. Unser

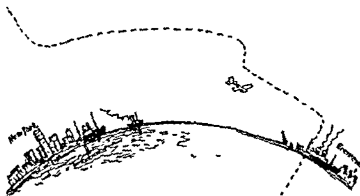
Vorstellungsvermögen freilich versagt, und wir wüßten nicht anzugeben, wo der Platz für die vierte, die Zeitdimension in der räumlichen Kurve zu finden sein könnte. Zu den drei Kanten eines Würfels, die alle drei senkrecht aufeinanderstehen, noch eine vierte zu geben, die ihrerseits auf allen dreien senkrecht steht, ist rechnerisch ein Kinderspiel, anschaulich unmöglich.

Meistens hilft man sich durch einen Kunstgriff. Man opfert eine oder zwei Raumdimensionen — und stellt den freien Platz der Zeit zur Verfügung. So kommt man wieder auf eine Art Fieberkurve zurück, in der man eine besondere Zeitachse hat. Wenn ich von einem Schiff weiß, daß es sich während seiner ganzen Fahrt strikt auf dem Äquator hält, so ließe sich eine solche Kurve zeichnen: Man trägt die Zeit ein und z. B. die zurückgelegte Entfernung. Die Kurve gibt dann eine Raum-Zeit-Darstellung der Überfahrt, wenn auch eine verstümmelte, weil zwei Raumangaben unter den Tisch gefallen sind. (Auf eine Raumdimension, die Höhe, freilich wird man bei Schiffen immer verzichten können; Schiffe pflegen sich nicht wie die fliegenden Fische größere Strecken über den Wasserspiegel zu erheben. Man könnte dann die Raum-Zeitkurve in drei Dimensionen durch einen dünnen Draht über der Karte zeichnen; bei Unterseebooten versagt die Methode, weil die wirklich räumliche Kurven, nicht ebene Wege auf dem Ozean fahren.) Wie sieht die Kurve eines Dampfers aus, wenn er vor Anker liegt? Auf der Landkarte ein Punkt. In unserer Darstellung eine gerade Linie, parallel zur Zeit-Achse. Denn: „Eins, zwei, drei, im Sauseschritt läuft die Zeit, wir laufen mit." Die Fieberkurve eines Rekonvaleszenten, der immer seine 36,7° hat, ist ja auch eine Gerade.

Weltlinie der „Bremen"

Ich glaube, wir haben jetzt Mut genug, Minkowskis Welt zu betreten. Minkowski war der Mann, der der Relativitätstheorie ihr elegantes mathematisches Kleid entworfen hat. Von da schauen wir

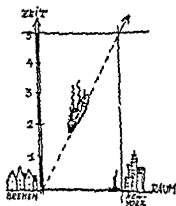
wie ein Gott auf die Welt zu unseren Füßen, die Menschen, die dort auf der flachen Erde schaffen und rennen, die Züge, die rauschenden Dampfer. Wir sehen die „Bremen" von Bremen die Anker lichten, wir sehen sie das Meer überqueren und schließlich am Kai im Hudson festmachen. Wir wollen ihre vollständige Bahnkurve — und wir spannen einen dünnen Draht über ihren Weg, dessen Höhe uns die Zeit angeben soll. Wie sieht der Draht aus? Zuerst geht er steil in die Höhe — senkrecht über dem Kolumbuskai



in Bremerhaven. Dort lag vom 1. März bis zum 2. die „Bremen" vor Anker, einen Tag lang steigt unsere Drahtkurve. Nun fährt das Schiff los — und wir müssen den Draht biegen. In sanfter Steigung folgt er nun dem Expreßdampfer auf seiner Fahrt über das Meer. Plötzlich, 1000 km nach Southampton, biegt er sich wieder steil nach oben; die „Bremen" muß dort gestoppt haben, vermuten wir, wenn wir nur den Draht sehen; so war es auch. Sie hat das Katapultflugzeug an Bord genommen. Weiter geht der Draht — flacher jetzt, da sie große Fahrt macht, um den Zeitverlust wieder gutzumachen, dann im Bogen nach links, als das Schiff einem Eisberg nach Süden auswich, ganz steil wieder vor New York — dort lag dichter Nebel vor der Küste, und nur langsam mit lautem Sirenengeheul tastete sich der Dampfer durch den Küstenverkehr.

Und schließlich biegt der Draht wieder um — kerzengerade schießt er in die Höhe: die „Bremen" hat am Kai in New York festgemacht. Die dünne, feine Drahtlinie, die so wunderbar Auskunft über jede Bewegung des Schiffes gibt, wollen wir nach Minkowski eine ‚Weltlinie' nennen. (Wir können, freilich mit „umgekehrtem Vorzeichen", etwas Ähnliches an windstillen Tagen wirklich sehen: in den Rauchwolken, die kerzengerade und senkrecht bei haltenden Schiffen in den Himmel steigen, die sich flach nach hinten ziehen, wenn der Dampfer mit voller Maschinenkraft dahinbraust.) Minkowski geht einen Schritt weiter als wir; denn Minkowski führt zu unserer Denkkurve noch die dritte Raumkoordinate hinzu, die wir der Vorstellungsmöglichkeit halber fortlassen mußten. So hat er drei Raumdimensionen und eine Zeitdimension, im ganzen vier. Jedes ‚Ereignis' in unserer Welt ist für Minkowski ein Punkt in seiner vierdimensionalen ‚Welt'. Und jedes Geschehen ist durch eine Weltlinie beschrieben. Auch Sie und ich werden von Minkowski als eine Weltlinie betrachtet: Als ein vierdimensionaler Wurm. Ein Eremit in seiner Büßerzelle hat bis zum Tode eine schnurgerade, parallel zur Zeitachse aufsteigende Weltlinie; ein gleichmäßig fahrender Dampfer eine sanft geneigte Gerade. Die Weltlinie Udets in seinem Kunstflugzeug? Fragen wir lieber nicht, wie sie aussieht — verbogen und verkrümmt nach allen — vier! — Weltrichtungen. Wenn ich heute abend mit meiner Freundin Nina ins Kino gehen sollte, so werden unsere Weltlinien ein kurzes Stück Wegs zusammen laufen und sich dann wieder trennen. Und wenn wir uns das nächste Mal verfehlen, weil einer nicht pünktlich war, so liegt es wirklich nur daran, daß die beiden W e l t l i n i e n s i c h v e r f e h l t e n u n d n i c h t z u s a m m e n k o m m e n k o n n t e n.

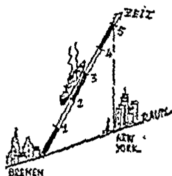
Die Minkowskischen Weltlinien, die einen vierdimensionalen mathematischen Raum mit ihrem Schlangengewirr erfüllen, sind das Bild unserer Welt in Raum und Zeit. Wir wollen noch einmal zwei Raumdimensionen opfern, um unserer beschränkten Anschauung



Genüge zu tun und zur vereinfachten Weltlinie der „Bremen" zurückkehren, wenn sie einmal glatte, ruhige Fahrt über den Ozean macht (vgl. die Skizze).

Wir sehen — jedes „Ereignis", der Griff nach dem Maschinentelegraphen in Bremerhaven am 1. März oder der Befehl: „Anker aus" in New York ist durch einen einzelnen Punkt der Weltlinie gegeben. Was ist ihr Abstand — der Abstand zweier Ereignisse? Der räumliche Abstand ist die Entfernung Bremerhaven—New York — 6000 km; der zeitliche ist fünf Tage. Und der „Raum-Zeitabstand"? Er ist gegeben durch die Entfernung zwischen Schwanz und Kopf unserer Weltlinie der „Bremen", durch ihre Länge.

So sehen wir von Deutschland aus die Sachlage an. Wie beurteilt ein „Bremen"-Passagier die Angelegenheit? Es gibt nur eine Welt, es gibt also auch nur einen Minkowski-Raum und nur eine Weltlinie der „Bremen", halten wir das fest. Aber ein „Bremen"-Passagier sieht die Weltlinie unter einem anderen Winkel. Sein Feld ist die „Bremen": sie bewegt sich die ganze Überfahrt hindurch nicht von ihm fort — sonst hieße es ja: „Mann über Bord!" — sie ruht für ihn! Aber wir wissen, wie die Weltlinie eines ruhenden Etwas aussieht: eine Linie parallel zur Zeitachse. Der „Bremen"-Passagier muß eine andere Zeit-Achse einführen, und damit der Raum nicht schlechter wegkommt, auch eine neue Raum-Achse. Die zweite Skizze zeigt seine Achsen.



— — *der Raum-Zeit-Abstand ist gleich!*

Und jetzt sehen wir zu unserem Erstaunen: der Passagier erhält einen ganz anderen räumlichen oder zeitlichen Abstand der beiden Ereignisse: „Volldampf“ und „Anker aus“. Der räumliche Abstand ist für ihn Null: beides geschieht ihm am gleichen Ort. So ist auch für mich der räumliche Abstand der beiden Ereignisse „Schlafengehen“ und „Aufstehen“ Null, beides geschieht am gleichen Ort — obwohl sich in einem gewissen Sinn während der Nacht mein Bett von meinem Bett entfernt hat, weil die Erde es auf ihrer Bahn weitertrug.

Der „Bremen“-Passagier verzeichnet also einen entschieden kürzeren räumlichen Abstand als der Mann vom Festland; man könnte meinen, daß er den eingesparten Raum benutzt, um Zeit daraus zu machen, und nun wenigstens einen entsprechend größeren Zeit-Abstand herausbekommt; aber das stimmt nicht. Auch den zeitlichen Abstand zwischen Ankunft und Abfahrt wird er als etwas kürzer ansehen, weil seine Tage ein wenig länger sind als unsere und er deshalb *nicht* soviel von ihnen auf der Weltlinie unterbringt.

Jedenfalls — noch einmal gesagt: Der „Bremen“-Mann hat einen anderen zeitlichen und räumlichen Abstand der beiden Dinge als wir auf dem Festland. Nur die Länge der *Weltlinie* zwischen beiden Daten — **der unzerschnittene Raum-Zeit-Abstand ist für beide gleich.**

Wenn wir uns arglos und vergnügt in der bunten Welt umschauen — so führen wir unbarmherzig einen Schnitt durch Minkowskis Welt; wir zerspalten sie in drei räumliche und einen zeitlichen Bestandteil. Es hängt von unserer augenblicklichen Geschwindigkeit ab, wie, in welcher Richtung wir diesen Schnitt führen, welchen Raum und welchen Zeitabstand wir dabei erhalten, und so kann es uns nicht verwundern, wenn wir *eine andere* Gleichzeitigkeit erhalten als der Stockholmer Flieger, oder wenn wir das Schnellflugzeug verkürzt sehen und die Zeit in ihm verlangsamt. Verschiedene Schnitte durch **eine** Welt. Der raumzeitliche Abstand aber bleibt immer gleich — er ist etwas Unveränderliches,

eine „Invariante"; Minkowski fand dafür die wunderbaren Worte, mit denen er seinen ersten Vortrag begann:

„Die neue Theorie ist auf dem Boden der Tatsachen erwachsen. Darin liegt ihre Stärke. Ihre Tendenz ist eine radikale. Von Stund an sollen Raum für sich und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken, und nur eine Art Union der beiden soll Selbständigkeit bewahren."

Allgemeine Relativität

Die Relativitätstheorie so, wie wir sie jetzt kennen, ist eine halbe Sache. Schon Newton hat das gewußt. Wir wissen, daß eine absolute Geschwindigkeit nicht festzustellen ist: Michelson. Aber wie steht es mit der Beschleunigung, d. h. mit einer **Änderung** der



Geschwindigkeit? — Für Beschleunigungen haben wir ein gutes Gefühl: wir fühlen, wie wir im startenden Auto, wenn die Geschwindigkeit wächst, gegen die Sitzpolster gepreßt werden; wir merken es, wenn ein D-Zug bremst und seine Geschwindigkeit immer geringer wird. Wenn wir im bremsenden Zug in der Fahrtrichtung gehen, so haben wir den unbestreitbaren Eindruck, *bergab* zu laufen. Dies gibt Einstein den Mut, seine Theorie auch auf Beschleunigungen auszudehnen. Ein kleiner Umweg ist nötig.

Kürzlich kamen mir zwei gewichtige Kugeln in die Hand, eine aus Messing, die andere aus Eisen. Ihre Massen waren gleich. Ich gab beiden denselben Schwung — und sie rollten auf dem glatten Rasenplatz gleich weit. Ich wog sie prüfend in der Hand — sie

14*

waren gleich schwer, und als ich sie fallen ließ, fielen sie gleich schnell. „Das ist höchst verwunderlich", sagte ich. „Das ist selbstverständlich", wurde mir geantwortet. „Die Kugeln fallen, weil sie von der Erde angezogen werden. Ihre Massen sind gleich — also werden sie gleich stark angezogen." Aber ich bringe einen kräftigen Elektromagneten in ihre Nähe und schalte ihn ein. Die Eisenkugel rollt schleunigst auf ihn zu; die Messingkugel kümmert sich nicht mehr um ihn als ein Hund um einen Hundertmarkschein. Wie — die beiden Kugeln sollen gleiche Masse haben? Wir sehen, im Begriff der Masse steckt eine Verschwommenheit: Man wirft die *träge* Masse mit der *schweren* Masse in einen Topf. Sehr zu Unrecht. Die *träge* Masse ist es, die wir in der Physik allein anerkennen. Sie wehrt sich gegen jede Beschleunigung. Wegen der trägen Masse eines D-Zugs muß die Lokomotive beim Anfahren so entsetzlich zischen und stöhnen. Die schwere Masse wirkt in ganz anderer Richtung — nach *unten*, auf die Schienen. Es ist ein Wunder, nichts sonst, daß dennoch Körper gleicher Masse gleich schwer sind — daß sie im Schwerfeld gleich stark angezogen werden. Aber dies Wunder ist durch feinste Versuche immer wieder bestätigt worden. *Träge und schwere Masse eines Körpers sind gleich.* Es war nur ein einziger Gedankenschritt, aber er mußte erst getan werden: Wenn träge und schwere Masse immer gleich sind, so ist das kein Wunder, sondern eine Selbstverständlichkeit. Ein physikalisch derartig zu bestätigendes Wunder ist eine Trivialität. Wir dürfen keinen Unterschied zwischen beiden machen. Diese Erkenntnis heißt das ‚Äquivalenzprinzip'.



Wir wollen einmal Einsteins Gedankenexperiment nachdenken — das von den Kastenphysikern. Denken wir uns Professor Piccard und seinen Gehilfen in ihrer abgeschlossenen

Gondel. Hoch über ihnen der Ballon. Nehmen wir an, sie wären bis an eine unbekannte ferne Stelle des Raums geflogen. Dort steht die Gondel nun still. Nichts ist in ihrer Gegend; kein Stern, keine Erde. Nichts also, was eine Anziehung hervorrufen könnte. Wenn Meister Piccard zum Ablesen des Elektrometers seine Brille einen Augenblick absetzen will, steckt er sie einfach neben sich in die Luft. Dort bleibt sie stehen. Ein Glas Wasser bleibt in jeder Lage voll, ob richtig oder auf dem Kopf. Es sieht gar keine Veranlassung, irgendwohin auszufließen. Piccard und sein Assistent haben sich mit der sorglosen Unvoreingenommenheit der Gelehrten rasch an diesen Zustand gewöhnt und finden ihn nur normal.

Aber plötzlich geschieht das Unerwartete: mit einem heftigen Ruck setzt sich die Brille in Bewegung und zerschellt klirrend auf dem Fußboden. Hin ist hin, und zu allem Überfluß ergießt sich das Wasser aus dem Glas darüber. „Oje", meint Piccard, „da sind wir also unversehens in ein Schwerefeld geraten. Unter uns wird wohl irgendein Stern sein, und von jetzt an fällt wieder alles zu Boden." „Schon denkbar, Professor", sagt der Assistent. „Aber ich glaube eher, daß der Teufel oder Beelzebub unsern Ballon am Kragen hat und ihn mitsamt unserer Gondel mit immer größerer Geschwindigkeit gleichmäßig beschleunigt durch den Weltraum führt. Schade, daß die Gondel geschlossen ist; wie werden wir entscheiden, Professor, wer von uns beiden recht hat?

Wenn Sie recht haben mit Ihrer Stern-Hypothese, fiel die Brille zu Boden, weil sie schwer war. Wenn die Beelzebub-Theorie stimmt, wehrte sich die **träge** Masse der Brille gegen eine Beschleunigung; sie blieb stehen, und der Gondelboden prallte mit nicht unbeträchtlicher Geschwindigkeit dagegen."



„Hoho", meinte Piccard. „Aber wenn ich jetzt

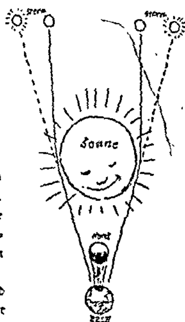
eine Revolverkugel quer durch die Gondel schieße, so liegt der Einschußpunkt doch etwas tiefer als der Abschuß, weil die Kugel ja während des Fluges etwas gefallen ist und ihre Bahn sich abwärts krümmt wie die Spritz-Parabel eines Gartenschlauchs." „Nein, nein, während die Kugel flog, sauste unsere ganze Gondel im Schlepptau des rasenden Beelzebub um dies kleine Stück nach oben. Das ist kein geeignetes Experiment." „Versuchen wir es mit einem Lichtstrahl!" schlug der Professor vor. „Wenn Ihre Theorie richtig ist, wird auch der Lichtstrahl ein winziges Stück tiefer ankommen. Wenn meine Theorie stimmt, die Stern-Hypothese, so wird der Lichtstrahl in gleicher Höhe drüben sein, denn Licht ist der Schwere nicht unterworfen." Sie sind so weit, das neue Experiment zu beginnen; ein Experiment, das genau wie der Michelson-Versuch eindeutige Klarheit über die Frage: Bewegung oder Ruhe? schaffen soll. Es wird für Einstein hohe Zeit, einzugreifen. Denn er hat das allgemeine Relativitätsprinzip aufgestellt — daß auch die Frage nach absoluter Beschleunigung sinnlos sein soll. Gestützt auf die Gleichheit von träger und schwerer Masse, behauptet er: Es ist unmöglich zu entscheiden, ob Ballon und Gondel verschleppt werden oder in einem Schwerefeld ruhen. Beide Anschauungen sind gleich berechtigt — Piccard und sein Assistent haben recht, jeder von seinem Standpunkt aus. Das Schwerefeld ist nichts als der Ersatz einer Beschleunigung. Und das Lichtexperiment? Es wird genau so negativ ausfallen, behauptet Einstein, notgedrungen. Licht ist *schwer*, es fällt genau wie ein fester Körper, wie die Brille.

Licht ist schwer. Läßt sich diese Behauptung irgendwie nachprüfen, oder ist sie graue, ferne Theorie? Man fand einen Weg und man beschritt ihn sogleich.

Was wiegt Energie?

Die Sonne reicht gerade aus. Im Schwerefeld der Erde ist die Lichtablenkung zu klein; aber die Sonne ist ein handfester, richtiger, ordentlicher Stern, und die Krümmung, die sie den Lichtstrahlen

aufzwingt, liegt, wie nach Maß, gerade noch im Bereich der Meßbarkeit. Das Licht eines weit entfernten Sterns, das dicht an der Sonne vorbeistreicht, muß dabei ein kleines Stück herunterfallen wie ein rasch geworfener Stein. Das Licht wird etwas abgelenkt — und Einstein vermochte den Betrag genau anzugeben. Ein zweitausendstel Grad — ein winzig kleiner Winkel, so dick erscheint dem unbewaffneten Auge ein Streichholz auf ein Kilometer Entfernung. Um diesen winzigen Betrag ragte Einsteins Theorie aus dem Bezirk der reinen Schreibtischgedanken in das Gebiet der Tatsachen hinein. Im Prinzip könnte man die Ablenkung heute und morgen und jederzeit messen. Aber unglücklicherweise sieht man dicht neben der Sonne gewöhnlich keine Sterne. Man muß abwarten, bis die Natur uns für einen kurzen Moment die Sonne verdeckt — bis zu einer totalen Sonnenfinsternis also. Sie trat im Jahre 1919 ein. Die Engländer rüsteten, auf Vorschlag des Königlichen Astronomen, gleich zwei Expeditionen aus: nach Principe an der Küste Afrikas und nach Sobral in Brasilien.



Es war nach Eddingtons Worten ein glücklicher Zufall, der wie mit Vorbedacht herbeigeführt schien. Denn wenn man einen Astronomen fragt, welches der günstigste Tag für eine solche Bestimmung sei, wann also die Sonne vor zwei passenden, hellen Sternen steht, so wird er den 29. Mai angeben. Die totale Sonnenfinsternis des Jahres 1919 fiel auf diesen Tag. 1938 werden wir noch einmal eine so günstige Prüfungsmöglichkeit erleben — bei den meisten Finsternissen ist die Messung viel schwerer.

Sonnenfinsternis-Expeditionen sind eine Sache für sich. Nur ein paar

Minuten stehen zur Verfügung, in denen jeder Handgriff klappen muß. Ein Mann hatte zum Beispiel die Aufgabe, die Kassetten zu wechseln, ein anderer beobachtete den richtigen Gang des Heliostaten, eines Spiegels, der dem Lauf der Sonne folgt. Denn eine Wiederholung ist ausgeschlossen — vorbei ist vorbei. In diesen vier Minuten in Sobral wurde über das Schicksal einer Theorie entschieden — über unsere Auffassung vom Weltall. Zwei Sterne zu beiden Seiten der Sonnenscheibe wurden vermessen; und sie mußten scheinbar weiter auseinander stehen als ein halbes Jahr zuvor, als die Sonne noch nicht in ihrer Nähe stand und das Licht nicht abgelenkt wurde. Ein paar Hundertstel Millimeter betrug die Verschiebung auf den Platten.

Principe hatte schlechtes Wetter, Wolken, und brachte nur ein paar Aufnahmen mit nach Hause; aber vier Monate später kam aus Sobral die Bestätigung: der Einstein-Effekt war vorhanden. Die beiden Expeditionen hatten ihr Ziel erreicht, sie hatten gefunden, daß das Licht schwer ist. Sie hatten „hinter die Sonne" geschaut. Die Tatsache ist nicht fortzuleugnen und wird heute allgemein anerkannt. Nun — das Licht ist leicht. Eddington hat ausgerechnet, daß ein Pfund Licht nach dem heutigen Tarif — sechzehn Pfennig pro Kilowattstunde — zwei Milliarden Mark kostet. Immerhin liefert die Sonne uns täglich gratis und franko hundertsechzig Tonnen Licht. Um diese hundertsechzig Tonnen würde die Erde täglich zunehmen, wenn sie nicht ihrerseits Licht und Wärme in den Weltraum hinausstrahlte und so den Effekt wieder abschwächte.

Dem Licht wird eine Masse zugebilligt; aus Gerechtigkeitsgründen dürfen wir die anderen Energieformen nicht schlechter behandeln, und tatsächlich hat Einstein schon vor Aufstellung der Relativitätstheorie die grundlegende Behauptung aufgestellt: Jede Energie, in welcher Form oder Verkleidung sie auftreten mag, hat eine bestimmte Masse. Aber es verträgt sich nicht mit der Art des neuen Denkens, auf halbem Wege stehenzubleiben. So sagen wir heute: E n e r g i e u n d M a s s e s i n d d a s s e l b e. Was wir

Masse nennen, ist nur eine neue Erscheinungsform der Energie.

Die Masse eines Körpers bedeutet eine gewisse Energie. Für praktische Zwecke ist es bequem, die Energie einer Kanonenkugel aufzuspalten, sie als Summe der Kugelmasse und ihrer Bewegungsenergie darzustellen. (Man kann dann sagen: Die Energie eines Körpers ist gleich seiner ‚Massenenergie' plus Bewegungsenergie. Man kann freilich auch sagen: Die Masse des Körpers ist gleich seiner ‚Ruhemasse' und der Masse seiner Bewegungsenergie. Beide Aussagen bedeuten dasselbe.) Aber diese Spaltung ist willkürlich und nur für praktische Zwecke gut, wie man etwa das Vermögen eines reichen Mannes in Kapital und Grundbesitz aufspaltet. Vermögen aber ist eines wie das andere.

Die Wesensgleichheit von Masse und Energie — das ist kein blutleeres Hirngespinst eines Theoretikers. Sie ist handfeste, physikalische Wirklichkeit und wäre ohne weiteres zu messen; es gibt da keine theoretischen Schwierigkeiten, nur experimentelle. Ein Mensch ist im Sommer wärmer als im Winter und enthält folglich mehr Wärmeenergie. Er wiegt also im Sommer mehr als im Winter oder auch tags mehr als nachts. Freilich haben wir noch keine Waagen, die diesen Unterschied messen könnten; er würde auch von allerhand Nebenwirkungen zugedeckt werden. (Beispielsweise schwimmt jeder Körper in der Luft. Bei genauen Wägungen muß man seinem Gewicht noch das der verdrängten Luft zuzählen. Das macht eine ganze Menge aus, und die Tatsache, daß die kalte Nachtluft schwerer ist als die warme Tagluft, ergibt schon einen bedeutend größeren Unterschied.) Schmelzen wir ein Kilogramm Eis, so wiegt das erhaltene Wasser um ein winziges mehr als ein Kilogramm, weil im Wasser die Energie der Schmelzwärme verborgen ist.

Ein großer Schritt zur Einheit der Welt ist getan. Uns fließen nun die Erhaltungssätze der Energie und der Masse zusammen, und es taucht der fast erschreckende Gedanke auf: Kann man Masse in Energie verwandeln?

Minuten stehen zur Verfügung, in denen jeder Handgriff klappen muß. Ein Mann hatte zum Beispiel die Aufgabe, die Kassetten zu wechseln, ein anderer beobachtete den richtigen Gang des Heliostaten, eines Spiegels, der dem Lauf der Sonne folgt. Denn eine Wiederholung ist ausgeschlossen — vorbei ist vorbei. In diesen vier Minuten in Sobral wurde über das Schicksal einer Theorie entschieden — über unsere Auffassung vom Weltall. Zwei Sterne zu beiden Seiten der Sonnenscheibe wurden vermessen; und sie mußten scheinbar weiter auseinander stehen als ein halbes Jahr zuvor, als die Sonne noch nicht in ihrer Nähe stand und das Licht nicht abgelenkt wurde. Ein paar Hundertstel Millimeter betrug die Verschiebung auf den Platten.

Principe hatte schlechtes Wetter, Wolken, und brachte nur ein paar Aufnahmen mit nach Hause; aber vier Monate später kam aus Sobral die Bestätigung: der Einstein-Effekt war vorhanden. Die beiden Expeditionen hatten ihr Ziel erreicht, sie hatten gefunden, daß das Licht schwer ist. Sie hatten „hinter die Sonne" geschaut. Die Tatsache ist nicht fortzuleugnen und wird heute allgemein anerkannt. Nun — das Licht ist leicht. Eddington hat ausgerechnet, daß ein Pfund Licht nach dem heutigen Tarif — sechzehn Pfennig pro Kilowattstunde — zwei Milliarden Mark kostet. Immerhin liefert die Sonne uns täglich gratis und franko hundertsechzig Tonnen Licht. Um diese hundertsechzig Tonnen würde die Erde täglich zunehmen, wenn sie nicht ihrerseits Licht und Wärme in den Weltraum hinausstrahlte und so den Effekt wieder abschwächte.

Dem Licht wird eine Masse zugebilligt; aus Gerechtigkeitsgründen dürfen wir die anderen Energieformen nicht schlechter behandeln, und tatsächlich hat Einstein schon vor Aufstellung der Relativitätstheorie die grundlegende Behauptung aufgestellt: Jede Energie, in welcher Form oder Verkleidung sie auftreten mag, hat eine bestimmte Masse. Aber es verträgt sich nicht mit der Art des neuen Denkens, auf halbem Wege stehenzubleiben. So sagen wir heute: Energie und Masse sind dasselbe. Was wir

Masse nennen, ist nur eine neue Erscheinungsform der Energie.

Die Masse eines Körpers bedeutet eine gewisse Energie. Für praktische Zwecke ist es bequem, die Energie einer Kanonenkugel aufzuspalten, sie als Summe der Kugelmasse und ihrer Bewegungsenergie darzustellen. (Man kann dann sagen: Die Energie eines Körpers ist gleich seiner „Massenenergie" plus Bewegungsenergie. Man kann freilich auch sagen: Die Masse des Körpers ist gleich seiner „Ruhemasse" und der Masse seiner Bewegungsenergie. Beide Aussagen bedeuten dasselbe.) Aber diese Spaltung ist willkürlich und nur für praktische Zwecke gut, wie man etwa das Vermögen eines reichen Mannes in Kapital und Grundbesitz aufspaltet. Vermögen aber ist eines wie das andere.

Die Wesensgleichheit von Masse und Energie — das ist kein blutleeres Hirngespinst eines Theoretikers. Sie ist handfeste, physikalische Wirklichkeit und wäre ohne weiteres zu messen; es gibt da keine theoretischen Schwierigkeiten, nur experimentelle. Ein Mensch ist im Sommer wärmer als im Winter und enthält folglich mehr Wärmeenergie. Er wiegt also im Sommer mehr als im Winter oder auch tags mehr als nachts. Freilich haben wir noch keine Waagen, die diesen Unterschied messen könnten; er würde auch von allerhand Nebenwirkungen zugedeckt werden. (Beispielsweise schwimmt jeder Körper in der Luft. Bei genauen Wägungen muß man seinem Gewicht noch das der verdrängten Luft zuzählen. Das macht eine ganze Menge aus, und die Tatsache, daß die kalte Nachtluft schwerer ist als die warme Tagluft, ergibt schon einen bedeutend größeren Unterschied.) Schmelzen wir ein Kilogramm Eis, so wiegt das erhaltene Wasser um ein winziges mehr als ein Kilogramm, weil im Wasser die Energie der Schmelzwärme verborgen ist.

Ein großer Schritt zur Einheit der Welt ist getan. Uns fließen nun die Erhaltungsätze der Energie und der Masse zusammen, und es taucht der fast erschreckende Gedanke auf: Kann man Masse in Energie verwandeln?

Die Masse hängt von der Geschwindigkeit ab

Für gewöhnlich liegt die Energie der Masse auf Sperrkonto — wir können nicht an sie heran. Wenn es gelingen würde, dieses ungeheure Kapital flüssig zu machen, so hätten wir einen Reichtum, der katastrophal wirken müßte. Die Massenenergie eines einzigen Gramms beträgt nach Einstein 25 Millionen Kilowattstunden, sie könnte 4 Jahre hindurch 1000 PS leisten. Der Bleistift in meiner Hand würde reichen, mich weit über die Erdatmosphäre in den Weltraum zu schleudern. Die Energie der Masse dieses Buches könnte man dazu benutzen, um einen Ozeandampfer 100 Jahre durch das Meer zu treiben — wenn man sie benutzen könnte. Vorläufig freilich scheint uns das unmöglich — mit einer Ausnahme. Die radioaktiven Prozesse mögen ihre Energie zum Teil aus solchen Vorgängen der ‚Massenzerstrahlung' beziehen.



Mit einer letzten Folgerung wollen wir schließen: Die Masse — bitte Masse nicht mit Umfang, Volumen zu verwechseln — einer Kanonenkugel oder einer Rakete hängt von ihrer Energie ab. Je schneller die Kugel fliegt, je größer also ihre Bewegungsenergie, um so mehr wächst die Masse der Kugel an, und sie wird nach den Formeln der Relativitätstheorie unendlich groß, wenn die Kugel die Lichtgeschwindigkeit erreicht. Alle Kraft der Welt zusammengenommen reicht dann nicht mehr hin, um die Kugel auch nur noch ein klein wenig zu beschleunigen. Auch dies Gesetz konnte experimentell geprüft werden; nicht gerade mit Kanonenkugeln, aber mit Elektronen, die man durch hohe elektrische Spannungen bis nahe an die Lichtgeschwindigkeit beschleunigen kann — aber dann wird

auch der Massenzuwachs dieser winzigen Elektronen zu gewaltig, so daß Millionen und Milliarden Volt nicht ausreichen, um die Lichtgeschwindigkeit ganz zu erreichen oder gar zu übertreffen.

„Nicht ein winziges bißchen?" „Nein", sagen die Formeln unerbittlich und hart, „aber wir finden, du hast keinen Grund zur Klage. 300 000 km/sec sind ganz schön. Niemals haben sich Energie oder Materie schneller bewegt und niemals werden sie schneller laufen!"

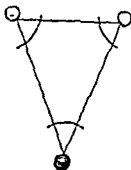
Die neue Theorie der Schwere

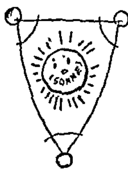
Richtiger müßte man sagen: Die erste Theorie der Schwere. Man sagt, Newton hatte eine Gravitations- — eine Schwerkrafttheorie aufgestellt; aber er gab nur das Gesetz an, nach dem zwei Körper sich anziehen und verschwieg, warum dem so ist. In einem seiner Briefe schreibt er: „Sie sagen, daß die Schwere jeder Materie innewohne und für sie wesentlich sei. Bitte, glauben Sie nicht, daß ich hierüber genaue Kenntnis habe; denn gerade diesen Anspruch erhebe ich nicht, daß mir die Ursache der Schwerkraft bekannt sei. Diese zu ergründen, würde weit mehr Zeit erfordern."

Kennen wir sie heute? Beim Licht kann man die meisten praktischen Ergebnisse der Optik — Fernrohre, Spiegel, Fotoapparate — schon erklären, wenn man zugibt, daß es Lichtstrahlen in der Welt gibt, die nach gewissen Gesetzen gebrochen und reflektiert werden. Aber wer wollte bestreiten, daß wir heute, nach Maxwells elektromagnetischer Lichttheorie mehr vom Wesen des Lichts wissen, als die Erbauer der ersten Fernrohre? Mit der Schwere steht es ähnlich.

Es ist eine alte Erfahrung, daß Licht sich auf einer geraden Linie bewegt. Aber was ist eine *gerade Linie*? Eine schöne, glatte Linealkante, eine gespannte Schnur, mit der der Gärtner ein Beet absteckt, ich visiere darüber hin und sehe: die Schnur ist gerade. Nun mag der Gärtner ein Riesenbeet im Weltraum abstecken, ein dreieckiges Riesenbeet, auf *dem*, gleichsam als Verzierung, die Sonne ruht. Ach, wir ahnen schon, was geschehen wird: der Lichtstrahl

180 Grad oder nicht?





wird ein wenig gekrümmt sein, in der Nähe der Sonne. Der arme Gärtner erhält kein gerades Beet! Wir könnten sein Werk fotografieren. Wir könnten dann die Sonne entfernen und ihn bitten, seine Arbeit zu wiederholen und nun ein neues Beet aufnehmen: beide Bilder wären verschieden. Die Expedition nach Sobral im Jahre 1919 hat es schwarz auf weiß belegt. Dennoch würde der Gärtner jeden Vorwurf weit von sich weisen; er hätte in beiden Fällen gleich gearbeitet, genau wie er es gelernt hätte; er könne nicht entdecken, daß das „Sonnenbeet" etwa krumm sei; wir sollten nur selbst nachsehen. Voller Zorn machen wir uns auf und visieren, dicht neben der glühenden Sonne, selbst über seine Pflöcke: Weiß Gott, es stimmt. Sie stehen alle in einer Linie.

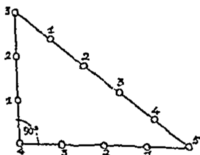
Es mag sein, daß uns nun der heilige Zorn packt. Wir beschließen, nicht zu weichen, bis der Fehler aufgeklärt ist. Wir starren ein halbes Jahr lang über seine Pflöcke, bis die Sonne weit fort ist; aber immer werden sie gerade und ausgerichtet sein. Der Gärtner hat recht!

Wir wollen hoffen, daß er unvoreingenommen und unverbildet genug ist und auf Begriffe wie Lichtstrahlkrümmung, Masse der Energie oder dergleichen keinen sonderlichen Wert legt.

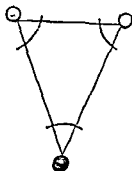
„Die Winkelsumme in deinem Dreieckbeet ist zu groß, wenn die Sonne drauf liegt!" sagen wir. „Sie muß doch 180° betragen!" „Wieso?" fragt er. „Euklid hat es festgelegt!" „Euklid kenne ich nicht; er hat mir keine Vorschriften zu machen. Hauptsache — mein Beet ist ordentlich abgemessen. Und ich finde, es macht sich mit der Sonne darauf recht gut." „Aber dann lebst du ja im gekrümmten Raum!" rufen wir entsetzt. „Bitte — warum nicht?" sagt der Gärtner, den diese Skrupel wenig angehen.

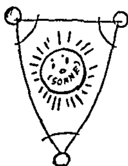
Er befindet sich in guter Gesellschaft. Er könnte zum Beispiel den alten Hofrat Carl Friedrich Gauß zur Unterstützung herbeirufen.

Warum werfen wir uns innerlich vor dem Namen Euklid auf die Knie? Weil seine Geometrie die einzig denkbare und vernünftige ist? Kant hat das noch geglaubt. Aber in der Zwischenzeit haben die Mathematiker — Bolyai, Lobatschewski, Riemann — andere Geometrien aufgestellt, die etwas andere Voraussetzungen als Euklid machen, zum Beispiel das ‚Parallelenaxiom' aufgeben, und dennoch in sich logisch und widerspruchsfrei sind. Euklid geht von gewissen, nicht weiter beweisbaren, aber „einleuchtenden" Grundsätzen (Axiomen) aus, wie zum Beispiel, daß ich zu einer Geraden durch einen Punkt nur eine einzige Parallele ziehen kann; aber gerade dies Axiom ist von jeher, nicht erst in der Neuzeit stark bezweifelt worden. Es muß etwas anderes sein —vielleicht hilft der Name „Geometrie" dazu; „Erdmessung". Bei der Vermessung der Erde fand man die Euklidischen Gesetze. Die ägyptischen Feldmesser benutzten zur Feststellung eines rechten Winkels eine Meßkette mit drei, vier und fünf Knoten (Lehrsatz des Pythagoras!). Irdische, feste, starre Körper, so kann man sagen, befolgen die Euklidischen Gesetze.



Aber die Relativitätstheorie hat mit diesem Begriff *aufgeräumt*: Es gibt keine starren Körper; jeder Körper ist der Lorentz-Verkürzung unterworfen! Wir kennen heute Euklidische und Nicht-Euklidische Geometrie, und unsere Meßgenauigkeit hat sich erheblich gesteigert. Alles Grund genug zum Mißtrauen. Und wir haben nur eine Möglichkeit, unter den vielen Geometrien zu entscheiden: das tun, was die Ägypter taten — Nachmessen! Gauß hat schon





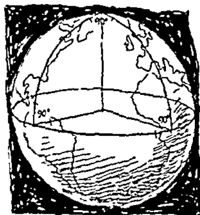
wird ein wenig gekrümmt sein, in der Nähe der Sonne. Der arme Gärtner erhält kein gerades Beet! Wir könnten sein Werk fotografieren. Wir könnten dann die Sonne entfernen und ihn bitten, seine Arbeit zu wiederholen und nun ein neues Beet aufnehmen: beide Bilder wären verschieden. Die Expedition nach Sobral im Jahre 1919 hat es schwarz auf weiß belegt. Dennoch würde der Gärtner jeden Vorwurf weit von sich weisen; er hätte in beiden Fällen gleich gearbeitet, genau wie er es gelernt hätte; er könne nicht entdecken, daß das „Sonnenbeet" etwa krumm sei; wir sollten nur selbst nachsehen. Voller Zorn machen wir uns auf und visieren, dicht neben der glühenden Sonne, selbst über seine Pflöcke: Weiß Gott, es stimmt. Sie stehen alle in einer Linie.

Es mag sein, daß uns nun der heilige Zorn packt. Wir beschließen, nicht zu weichen, bis der Fehler aufgeklärt ist. Wir starren ein halbes Jahr lang über seine Pflöcke, bis die Sonne weit fort ist; aber immer werden sie gerade und ausgerichtet sein. Der Gärtner hat recht!

Wir wollen hoffen, daß er unvoreingenommen und unverbildet genug ist und auf Begriffe wie Lichtstrahlkrümmung, Masse der Energie oder dergleichen keinen sonderlichen Wert legt.

„Die Winkelsumme in deinem Dreieckbeet ist zu groß, wenn die Sonne drauf liegt!" sagen wir. „Sie muß doch 180° betragen!" „Wieso?" fragt er. „Euklid hat es festgelegt!" „Euklid kenne ich nicht; er hat mir keine Vorschriften zu machen. Hauptsache — mein Beet ist ordentlich abgemessen. Und ich finde, es macht sich mit der Sonne darauf recht gut." „Aber dann lebst du ja im gekrümmten Raum!" rufen wir entsetzt. „Bitte — warum nicht?" sagt der Gärtner, den diese Skrupel wenig angehen.

blätter oder Wanzen auf einer großen Sandwüste, eben wie eine Tischplatte, umherwandern, sich vor uns versammeln, zu unseren Füßen gewissermaßen, um „allgemeine Kosmologie" zu hören. „Hört zu, ihr Wanzen", sage ich. „Ich habe euch nunmehr die Grundbegriffe der Geometrie erklärt. Geht hin und seht nach, ob es stimmt, ob Euklid recht hat." Ab gingen sie, verstreuten sich in der Wüste, maßen Kreise, Dreiecke und Winkel aus, hantierten mit Theodolithen und Meßinstrumenten, schrieben es auf ihre Tafel und erschienen wieder, tief befriedigt. „Wir haben alles gemessen. Euklid hat recht. Ein Dreieck hat die Winkelsumme von 180 Grad. Wie wäre es auch anders denkbar! Unsere Philosophen haben uns ja längst gesagt, daß nur der Euklidische Raum, die Ebene denkbar sei und etwas Dreidimensionales zwar in den Hirnen einiger verrückten Mathematiker spukt, aber selbstverständlich nur unwesentliches Gefasel ist." Ich lächelte ein wenig. Wie leicht wäre es mir gefallen, eines dieser Wesen nur um zwei Millimeter über den Wüstensand zu heben, in die dritte Dimension. Es wäre dann verschwunden für die anderen — gerade so, als hätte es ein Geist entführt. Aber ich schwieg und wollte gerade meinen Vortrag fortsetzen — da drängten sich von hinten drei Wanzen durch die Reihe, mit allen Zeichen der Aufregung, wild ihre Blätter schwenkend.



„Wißt ihr, was wir herausbekommen haben? Winkelsumme 270 Grad!" „Unmöglich!" schrie es. Die gesamte Zuhörerschaft tobte. „Zeigt eure Papiere. Wie kann das sein? Albern. Lächerlich. Unvorstellbar!" „Ruhe", sagte ich, „was für ein Dreieck habt

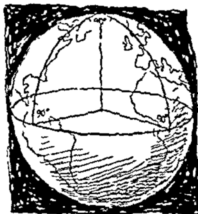
1840 diese Notwendigkeit erkannt. Er vermaß ein großes Dreieck in der norddeutschen Tiefebene, Inselberg, Brocken, Hoher Hagen, so genau er konnte. Er fand, in den Grenzen seiner Meßfehler, die 180°, die Euklid gefordert hatte. Wahrscheinlich war Gauß etwas enttäuscht. Es hätte ihn sicher mehr befriedigt, anstatt dieser platten Selbstverständlichkeit eine größere Summe zu erhalten — und damit eine nichteuklidische Geometrie als physikalisch wirklich zu erklären, sie von ihrer schattenhaften Wesenlosigkeit zu befreien. Gauß hat seine Messungen nie veröffentlicht; er „fürchtete das Geschrei der Böoter". Aber müssen wir darum den Mut aufgeben? Wir werden nur sagen: In erster Näherung ist der Raum euklidisch — so wie ein genügend kleines Stück der Erde eben ist. Und sehen Sie — unser Optimismus war berechtigt. Die englischen Astronomen auf Sobral haben das Gauß-Experiment in Weltraum-Ausmaßen wiederholt, und sie fanden, wie unser Gärtner auch: In der Nähe der Sonne hat Euklid nichts mehr zu suchen. Die große Masse verändert dort die Geometrie. Hätten die Mathematiker einen anderen Ausdruck dafür, so würde sich wahrscheinlich kein Mensch daran stoßen; aber unglücklicherweise benutzen sie die Worte: Der Raum ist dort gekrümmt.

Was heißt ein gekrümmter Raum? Wir haben es schon gesagt: nichts anderes, als daß die Meßexperimente, die wir uns ausdenken könnten, nicht überall Euklids Gesetzen gehorchen, sondern



irgendwelchen anderen. Wir wollen einmal ein Mathematik-Kolleg für Wanzen halten, oder für Papierblätter — flache, zweidimensionale Wesen, denen räumliches Denken völlig abgeht. Und wir wollen uns denken, daß diese denkenden Papier-

blätter oder Wanzen auf einer großen Sandwüste, eben wie eine Tischplatte, umherwandern, sich vor uns versammeln, zu unseren Füßen gewissermaßen, um „allgemeine Kosmologie" zu hören. „Hört zu, ihr Wanzen", sage ich. „Ich habe euch nunmehr die Grundbegriffe der Geometrie erklärt. Geht hin und seht nach, ob es stimmt, ob Euklid recht hat." Ab gingen sie, verstreuten sich in der Wüste, maßen Kreise, Dreiecke und Winkel aus, hantierten mit Theodolithen und Meßinstrumenten, schrieben es auf ihre Tafel und erschienen wieder, tief befriedigt. „Wir haben alles gemessen. Euklid hat recht. Ein Dreieck hat die Winkelsumme von 180 Grad. Wie wäre es auch anders denkbar! Unsere Philosophen haben uns ja längst gesagt, daß nur der Euklidische Raum, die Ebene denkbar sei und etwas Dreidimensionales zwar in den Hirnen einiger verrückten Mathematiker spukt, aber selbstverständlich nur unwesentliches Gefasel ist." Ich lächelte ein wenig. Wie leicht wäre es mir gefallen, eines dieser Wesen nur um zwei Millimeter über den Wüstensand zu heben, in die dritte Dimension. Es wäre dann verschwunden für die anderen — gerade so, als hätte es ein Geist entführt. Aber ich schwieg und wollte gerade meinen Vortrag fortsetzen — da drängten sich von hinten drei Wanzen durch die Reihe, mit allen Zeichen der Aufregung, wild ihre Blätter schwenkend.



„Wißt ihr, was wir herausbekommen haben? Winkelsumme 270 Grad!" „Unmöglich!" schrie es. Die gesamte Zuhörerschaft tobte „Zeigt eure Papiere. Wie kann das sein? Albern. Lächerlich. Unvorstellbar!" „Ruhe", sagte ich, „was für ein Dreieck habt

ihr drei vermessen?" „Ich stand auf dem Nordpol" „Ich auf dem Äquator, in Ecuador, Südamerika." „Und ich in Kamerun. Ein großes, schönes Dreieck. Nichts gegen unsere Resultate — sie sind korrekt!" Sie hatten recht, ein Dreieck, so auf der Erde gemessen, hat drei rechte Winkel. „Seht ihr", sagte ich, „ihr müßt euch damit abfinden, daß eure Welt nicht eben, daß sie gekrümmt ist. In großen Gebieten gilt Euklids Geometrie nicht mehr. Die Mathematiker wissen, welche Geometrie für euch in Wahrheit die richtige ist: eine „sphärische" zweidimensionale, eine Kugelgeometrie. Und ihr seht — man muß große Gebiete vermessen, um davon etwas zu merken. Ihr lebt in einer gekrümmten Welt. Faßt es, wenn ihr könnt." Der Tumult wuchs an.

Ich fürchte, man kann den Wanzen einen Vorwurf nicht ersparen: sie waren bei ihren Messungen doch zu einseitig. Wenn sie nicht nur die glatte Wüste, sondern die ganze Erdoberfläche mit ihren Bergen und Tälern ausgemessen hätten, so hätten sie festgestellt, daß ihre Welt nicht nur im ganzen gekrümmt ist, sondern daß es in ihr Gebiete stärkerer Krümmung gibt. Sie sind nicht sehr umfangreich, wenn die Kugel als Ganzes betrachtet wird, aber sie sind vorhanden.



Linie verläuft ein straff gespannter Faden zwischen zwei Orten, wenn er auf seiner ganzen Länge der Fläche anliegt. Ich bitte Sie, fügen Sie der Wanzenwelt noch eine einzige Dimension hinzu — und Sie haben das Bild unseres Raumes. Auch unser Raum, das sagt die allgemeine Relativitätstheorie, ist überall gekrümmt, das heißt, die euklidische Geometrie gilt in ihm nicht. Eigentlich ist die vierdimensionale Minkowski-Welt der Übeltäter. Sie ist gekrümmt; und unser Raum, der nur ein Schnitt durch diese Welt ist, muß notwendigerweise dann auch gekrümmt ausfallen. An manchen Stellen verstärkt sich die Krümmung zu einem kleinen Hügel, dort ist ein Stern, eine Sonne: Materie.

Wir wandern umher und kommen in ein Gebiet, wo die Moleküle in rasender, schneller Zickzackbewegung sind, und wir sagen, hier ist es warm. Wir fragen nicht danach, wie die Wärme es anstellt, die Moleküle zum Rasen zu bringen: Die Bewegung der Moleküle ist die Wärme. Wir wandern im All und kommen an eine Stelle, wo der Äther in einem eigentümlichen, rasch wechselnden elektromagnetischen Spannungszustand ist, und wir sagen: Hier ist Licht! Aber wir fragen nicht, was für Kunststücke das Licht vollbringt, um den Äther in diese schwingende Spannung zu versetzen Sie selbst ist das Licht. Wir wandern und wandern und kommen an einen Ort, wo der Raum stärker als sonst gekrümmt ist. Wir fragen nicht weiter: Diese Krümmung nennen wir Materie.

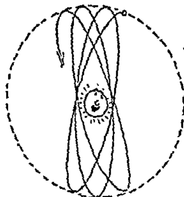
Der Rest ist schnell gesagt. Wenn der Raum gekrümmt ist, so ist das, was wir immer eine gerade Linie nennen, nur eine ‚geradeste' — eine ‚geodätische Linie'. Ein Wesen, das aus einer vierdimensionalen Welt auf uns herabschaut, wie wir aus unserem Raum auf die zweidimensionalen Wanzen, könnte eine kürzere Verbindung herstellen; aber sie müßte im Vierdimensionalen verlaufen — sie müßte aus unserer Welt hinausführen. Ein freier Körper, der nicht von Reibungskräften oder ähnlichem gestört wird, fliegt in der Welt längs einer geodätischen Linie. Das ist die natürliche Verallgemeinerung des Trägheitsgesetzes. Auf einer geodätischen Linie bewegt sich das Licht; auf einer geodätischen Linie fliegt ein geworfener Stein; auf einer geodätischen Linie saust ein Meteor durch den leeren Raum; auf einer geodätischen Linie läuft die Erde durch das Sonnensystem; und weil die Raumverkrümmung in der Nähe der Sonne verstärkt ist — und das ganze Planetensystem liegt, nach kosmischen Maßstäben, in unmittelbarer Nachbarschaft der Sonne! — ist die geodätische Linie dort zur Kreisbahn geworden.

Wir haben nicht mehr, wie Newton, eine geheimnisvolle Kraft: „die Schwerkraft" nötig; wir brauchen nur noch das Gesetz herauszufinden, dem die Raumkrümmung gehorcht. Freilich gehört diese Aufgabe, so simpel sie klingt, zu den schwierigsten mathematischen Aufgaben, die es gibt. Der Mathematiker spricht von ‚Tensoren' und ähnlich schönen Dingen.

Die neue Schweretheorie, auf Nahewirkung aufgebaut! (Die Newtonsche beruht ja auf Fernwirkung), führt uns mitten hinein in Schwierigkeiten, von denen frühere Generationen kaum etwas geahnt haben; aber sie führt, so scheint es uns, zu einem tieferen, neuen Verständnis der Schwerkraft — zu einem Begreifen des Wesentlichen am Raum und dem Bau der Welt im Großen.

So ist es nicht von so entscheidender Bedeutung, daß sie sich außer im Fall der Lichtkrümmung nur noch in ein paar winzigen

Ergebnissen von der Newtonschen Theorie unterscheidet; freilich — es ist sehr erfreulich, daß sie auch hier das Richtige trifft. Das eine ist die Drehung der Merkurbahn. Der Merkur durchläuft eine Ellipse, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. Aber diese ganze Ellipsenbahn steht nicht fest im Raum — sie dreht sich ihrerseits ganz langsam um die Sonne; einmal in drei Millionen Jahren. Der Merkur durchläuft also eine Rosettenbahn. Diese kleine Abweichung blieb ein ungeklärter Schönheitsfehler der Newtonschen Theorie. Man glaubte lange Zeit, ein weiterer kleiner Planet triebe dort ganz nah bei der Sonne sein Unwesen; man versuchte ihn zu berechnen, sogar der Name lag schon blank geputzt in der Schublade: Vulkan Aber der Name bleibt ewig ungebraucht, weil es den Vulkan niemals geben wird. Statt dessen gibt es eine allgemeine Relativitätstheorie, aus deren Gleichungen diese winzige Drehung von selbst folgt — sich hinterher ergibt, als Nebenresultat, obwohl Einstein bei der Aufstellung seiner Gleichungen weiß Gott weder an den Merkur noch an Vulkan gedacht hat.



Das andere ist eine ‚Rotverschiebung' der Spektrallinien auf der Sonne und allen anderen schweren Sternen. Das Licht verbraucht etwas Energie, wenn es sich dem Schwerefeld der Sonne entzieht, und wird so ein wenig röter, seine Wellenlänge ein wenig größer. Man darf, nach den besten Messungen, heute wohl annehmen, daß diese Verschiebung wirklich vorhanden ist, aber sie liegt hart an der Grenze des Beobachtbaren.

Aber wir wollen uns nicht länger mit diesen winzigen Kleinig-

werden die Kreise. Ein Kreis von 1 m Durchmesser hat 3,14 m Umfang; das stimmt. Aber ein Kreis, dessen Durchmesser — auf der Erdoberfläche gemessen — 20000 km beträgt, mißt im Umfang nicht, wie Euklid will, 62800 km, sondern bloß 40000 km. Es ist der Äquator.

Das ist ein offenbarer Widerspruch zu Euklid; heute wissen wir, daß die Erde eine Kugel ist, und auf einer Kugeloberfläche hat Euklid nichts zu suchen — dort gilt die ‚sphärische Geometrie'. Durch ihre gleichmäßige Krümmung gelingt es der Erde, sich zu schließen und so jedes ‚Ende der Welt' zu vermeiden. Alle geraden Linien, die vom Nordpol ausgehen, schneiden sich im Südpol. Alle laufen sie schließlich in sich selbst zurück.

Es sieht ganz so aus, als wenn auch der Raum Euklid opfert, um Platz zu sparen. Ich könnte um Berlin als Mittelpunkt Kugeln schlagen — sie würden wachsen und wachsen. Eine Kugel von 1 m Durchmesser hat 3,14 Quadratmeter Oberfläche. Aber eine Kugel von hundert Millionen Lichtjahren Durchmesser hätte schon eine beträchtlich kleinere Oberfläche, als ihr nach dieser Euklidischen Formel zustehen würde — leider können wir nicht wirklich nachmessen, aber wir glauben es heute. Der Raum ‚zieht sich immer mehr zusammen', je weiter wir ins All vorstoßen. Alle Geraden, die wie das Stachelkleid eines Igels von Berlin ausgehen — räumliche Gerade, selbstverständlich, gerade nach allen drei Richtungen — laufen ‚drüben' an der anderen Seite des Raumes wieder zusammen, und alle geraden Linien laufen schließlich wieder nach Berlin zurück. So gelingt es dem Raum, genau wie der Erde es in zwei Dimensionen gelingt, sich durch eine gleichmäßige Krümmung wieder zu schließen, jedes Ende des Raumes zu vermeiden und mit einem endlichen Rauminhalt der Welt auszukommen. Der Durchmesser der Welt beträgt — vielmehr er betrug einmal — 2000 Millionen Lichtjahre. Dies also ist im Grunde die größte denkbare Entfernung unserer Welt.

Der vollkommene ‚sphärische (kugelförmige) Raum' Einsteins,

keiten herumschlagen; gewaltiger, drohender sind die Tatsachen, die sich in dem neuen Riesenfernrohr der Mt. Wilson-Sternwarte enthüllen.

Der endliche Raum

Wir müssen noch ein letztes Mal zu den Wanzen zurückkehren. „Ich habe euch gezeigt, daß ihr in einer gekrümmten Welt lebt", sage ich. (Lebhafte Unruhe bei den Zuhörern!) „Noch mehr! Eure Welt ist sogar — endlich!" (Offener Widerspruch, der sich zu einzelnen Pfiffen steigert!) „Ich habe zwei eurer Kameraden auf eine große Reise geschickt — sie sollten immer geradeaus laufen, immer der Nase nach, ohne nach rechts oder links abzuweichen. Nach Westen marschierten sie los — und dort seht ihr — dort kommen sie jetzt." Im Osten erscheinen zwei kleine Punkte, werden größer: die beiden Weltwanderer, die einmal die Erde umkreist hatten. Müde und bestaubt. Tausend Eide schwören sie, daß sie weder rechts noch links von der geraden Linie abgewichen wären. „Ihr seht es — jede gerade Linie läuft in sich selbst zurück! Eure Welt ist endlich! Für heute genug!" Streitend, debattierend, voller Erbitterung zerstreuten sich meine Hörer. Unmöglich, blödsinnig — hörte ich, und dann laut die Stimme einer einzelnen, allgemein-relativistisch gebildeten Wanze: „Wieso unmöglich? Ist die grenzenlose, aber endliche Welt nicht selbstverständlich? Meine Theorie sagt sie voraus — ich kann sogar den Radius unserer Welt und ihre Größe berechnen!" Und sie zerstreuten sich.

Das Altertum glaubte, die Erde sei eine ebene Scheibe. Es glaubte aber auch an die Euklidische Geometrie. Hätten die Leute damals nachgemessen, so hätten sie gefunden, daß die Erde geiziger ist als Euklid. Sie stellt uns nicht soviel Platz zur Verfügung, wie Euklid es verlangt. Ich kann mich auf den Nordpol stellen und konzentrische Kreise auf die große „ebene" Eiswüste dort ziehen — eine riesige Schießscheibe konstruieren. Größer und größer

werden die Kreise. Ein Kreis von 1 m Durchmesser hat 3,14 m Umfang; das stimmt. Aber ein Kreis, dessen Durchmesser — auf der Erdoberfläche gemessen — 20000 km beträgt, mißt im Umfang nicht, wie Euklid will, 62800 km, sondern bloß 40000 km. *Es ist der Äquator.*

Das ist ein offenbarer Widerspruch zu Euklid; heute wissen wir, daß die Erde eine **Kugel** ist, und auf einer Kugeloberfläche hat Euklid nichts zu suchen — dort gilt die ‚sphärische Geometrie'. Durch ihre gleichmäßige Krümmung gelingt es der Erde, sich zu **schließen** und so jedes *‚Ende der Welt' zu vermeiden.* Alle geraden Linien, die vom Nordpol ausgehen, schneiden sich im Südpol. Alle laufen sie schließlich in sich selbst zurück.

Es sieht ganz so aus, als wenn auch der Raum Euklid opfert, um Platz zu sparen. Ich könnte um Berlin als Mittelpunkt Kugeln schlagen — sie würden wachsen und wachsen. Eine Kugel von 1 m Durchmesser hat 3,14 Quadratmeter Oberfläche. Aber eine Kugel von hundert Millionen Lichtjahren Durchmesser hätte schon eine beträchtlich kleinere Oberfläche, als ihr nach dieser Euklidischen Formel zustehen würde — leider können wir nicht wirklich nachmessen, aber wir glauben es heute. Der Raum ‚zieht sich immer mehr zusammen', je weiter wir ins All vorstoßen. Alle Geraden, die wie das Stachelkleid eines Igels von Berlin ausgehen — **räumliche** Gerade, selbstverständlich, gerade nach allen drei Richtungen — laufen ‚drüben' an der anderen Seite des Raumes wieder zusammen, und alle geraden Linien laufen schließlich wieder nach Berlin zurück. So gelingt es dem Raum, genau wie der Erde *es in* zwei Dimensionen gelingt, sich durch eine gleichmäßige Krümmung *wieder* zu schließen, jedes Ende des Raumes zu vermeiden und mit *einem endlichen* Rauminhalt der *Welt auszukommen.* Der Durchmesser der *Welt* beträgt — vielmehr er betrug einmal — 2000 Millionen Lichtjahre. Dies also ist im Grunde die größte denkbare Entfernung unserer Welt.

Der vollkommene ‚sphärische (kugelförmige) Raum' Einsteins,

keiten herumschlagen; gewaltiger, drohender sind die Tatsachen, die sich in dem neuen Riesenfernrohr der Mt. Wilson-Sternwarte enthüllen.

Der endliche Raum

Wir müssen noch ein letztes Mal zu den Wanzen zurückkehren. „Ich habe euch gezeigt, daß ihr in einer gekrümmten Welt lebt", sage ich. (Lebhafte Unruhe bei den Zuhörern!) „Noch mehr! Eure Welt ist sogar — endlich!" (Offener Widerspruch, der sich zu einzelnen Pfiffen steigert!) „Ich habe zwei eurer Kameraden auf eine große Reise geschickt — sie sollten immer geradeaus laufen, immer der Nase nach, ohne nach rechts oder links abzuweichen. Nach Westen marschierten sie los — und dort seht ihr — dort kommen sie jetzt." Im Osten erscheinen zwei kleine Punkte, werden größer: die beiden Weltwanderer, die einmal die Erde umkreist hatten. Müde und bestaubt. Tausend Eide schwören sie, daß sie weder rechts noch links von der geraden Linie abgewichen wären. „Ihr seht es — jede gerade Linie läuft in sich selbst zurück! Eure Welt ist endlich! Für heute genug!" Streitend, debattierend, voller Erbitterung zerstreuen sich meine Hörer. Unmöglich, blödsinnig — hörte ich, und dann laut die Stimme einer einzelnen, allgemein-relativistisch gebildeten Wanze: „Wieso unmöglich? Ist die grenzenlose, aber endliche Welt nicht selbstverständlich? Meine Theorie sagt sie voraus — ich kann sogar den Radius unserer Welt und ihre Größe berechnen!" Und sie zerstreuten sich.

Das Altertum glaubte, die Erde sei eine ebene Scheibe. Es glaubte aber auch an die Euklidische Geometrie. Hätten die Leute damals nachgemessen, so hätten sie gefunden, daß die Erde geiziger ist als Euklid. Sie stellt uns nicht soviel Platz zur Verfügung, wie Euklid es verlangt. Ich kann mich auf den Nordpol stellen und konzentrische Kreise auf die große „ebene" Eiswüste dort ziehen — eine riesige Schießscheibe konstruieren. Größer und größer

werden die Kreise. Ein Kreis von 1 m Durchmesser hat 3,14 m Umfang; das stimmt. Aber ein Kreis, dessen Durchmesser — auf der Erdoberfläche gemessen — 20000 km beträgt, mißt im Umfang nicht, wie Euklid will, 62800 km, sondern bloß 40000 km. Es ist der Äquator.

Das ist ein offenbarer Widerspruch zu Euklid; heute wissen wir, daß die Erde eine Kugel ist, und auf einer Kugeloberfläche hat Euklid nichts zu suchen — dort gilt die ‚sphärische Geometrie'. Durch ihre gleichmäßige Krümmung gelingt es der Erde, sich zu schließen und so jedes ‚Ende der Welt' zu vermeiden. Alle geraden Linien, die vom Nordpol ausgehen, schneiden sich im Südpol. Alle laufen sie schließlich in sich selbst zurück.

Es sieht ganz so aus, als wenn auch der Raum Euklid opfert, um Platz zu sparen. Ich könnte um Berlin als Mittelpunkt Kugeln schlagen — sie würden wachsen und wachsen. Eine Kugel von 1 m Durchmesser hat 3,14 Quadratmeter Oberfläche. Aber eine Kugel von hundert Millionen Lichtjahren Durchmesser hätte schon eine beträchtlich kleinere Oberfläche, als ihr nach dieser Euklidischen Formel zustehen würde — leider können wir nicht wirklich nachmessen, aber wir glauben es heute. Der Raum ‚zieht sich immer mehr zusammen', je weiter wir ins All vorstoßen. Alle Geraden, die wie das Stachelkleid eines Igels von Berlin ausgehen — räumliche Gerade, selbstverständlich, gerade nach allen drei Richtungen — laufen ‚drüben' an der anderen Seite des Raumes wieder zusammen, und alle geraden Linien laufen schließlich wieder nach Berlin zurück. So gelingt es dem Raum, genau wie der Erde es in zwei Dimensionen gelingt, sich durch eine gleichmäßige Krümmung wieder zu schließen, jedes Ende des Raumes zu vermeiden und mit einem endlichen Rauminhalt der Welt auszukommen. Der Durchmesser der Welt beträgt — vielmehr er betrug einmal — 2000 Millionen Lichtjahre. Dies also ist im Grunde die größte denkbare Entfernung unserer Welt.

Der vollkommene ‚sphärische (kugelförmige) Raum' Einsteins,

wie er hier gezeichnet wurde, ist nicht nur eine etwas gespenstische Sache — er birgt auch wirkliche Gespenster in sich. Gespenster von Sternen und Nebeln. Denn jeder Lichtstrahl, der in den Raum hinausjagt, muß einmal in sich selbst zurücklaufen.

6000 Millionen Jahre braucht das Licht für eine Umkreisung, und es wäre in einem sphärischen Raum denkbar, daß von den Sternen, die wir am Himmel sehen, nur ein Teil echt ist — daß die anderen Geister sind, Gespenster, Abbilder desselben Sterns — Licht, das er vor 6000 Millionen Jahren ausgesandt hat, Zeugen seiner Vergangenheit. Wir brauchen uns bloß auf freies Feld zu stellen und geradeaus zu schauen. Wenn wir etwas zuwarten, erscheint plötzlich vor uns das Bild der Erde und unser eigener Hinterkopf — und nicht einmal lichtschwach, denn der sphärische Raum wirkt ja wie eine gewaltige Linse und sammelt alles Licht, das unser Hinterkopf ausstrahlte, wieder bei uns. Wir haben rund um die Welt gesehen. Aber besser, wir nehmen uns einen Klappstuhl mit, denn wir werden etwas warten müssen — 6000 Millionen Jahre.

In Wahrheit freilich wird das Licht auf seiner langen Reise durch den Weltraum von den Sternen, in deren Nähe es vorbeikommt, etwas abgebeugt, aus der Richtung gebracht — und so müssen die Lichtstrahlen den Gegenpunkt verfehlen, das Bild wird viel zu undeutlich und verwaschen — es kommt nicht zustande. Schade.

Wir sind zu Ende. Geborgen im sphärischen Raum sitzen wir und durchmustern mit unseren Fernrohren die Welt. Es ist nicht viel, was wir sehen, auch mit unseren größten Hilfsmitteln nicht — ein winziges Stück der Welt, vergleichbar mit der Größe Frankreichs auf dem Globus. Weiter und weiter dringt unser angespannter Blick ins Unergründliche hinaus. Fern, unermeßlich fern die Sterne am tiefen, drohenden Schwarz des Himmels. In weitem Bogen durchmißt die schimmernde Spur der Milchstraße das hohe Gewölbe. So leer scheint der Raum um uns, so unermeßlich groß



wie er hier gezeichnet wurde, ist nicht nur eine etwas gespenstische Sache — er birgt auch wirkliche Gespenster in sich. Gespenster von Sternen und Nebeln. Denn jeder Lichtstrahl, der in den Raum hinausjagt, muß einmal in sich selbst zurücklaufen.

6000 Millionen Jahre braucht das Licht für eine Umkreisung, und es wäre in einem sphärischen Raum denkbar, daß von den Sternen, die wir am Himmel sehen, nur ein Teil echt ist — daß die anderen Geister sind, Gespenster, Abbilder desselben Sterns — Licht, das er vor 6000 Millionen Jahren ausgesandt hat, Zeugen seiner Vergangenheit. Wir brauchen uns bloß auf freies Feld zu stellen und geradeaus zu schauen. Wenn wir etwas zuwarten, erscheint plötzlich vor uns das Bild der Erde und unser eigener Hinterkopf — und nicht einmal lichtschwach, denn der sphärische Raum wirkt ja wie eine gewaltige Linse und sammelt alles Licht, das unser Hinterkopf ausstrahlte, wieder bei uns. Wir haben rund um die Welt gesehen. Aber besser, wir nehmen uns einen Klappstuhl mit, denn wir werden etwas warten müssen — 6000 Millionen Jahre.

In Wahrheit freilich wird das Licht auf seiner langen Reise durch den Weltraum von den Sternen, in deren Nähe es vorbeikommt, etwas abgebeugt, aus der Richtung gebracht — und so müssen die Lichtstrahlen den Gegenpunkt verfehlen, das Bild wird viel zu undeutlich und verwaschen — es kommt nicht zustande. Schade.

Wir sind zu Ende. Geborgen im sphärischen Raum sitzen wir und durchmustern mit unseren Fernrohren die Welt. Es ist nicht viel, was wir sehen, auch mit unseren größten Hilfsmitteln nicht — ein winziges Stück der Welt, vergleichbar mit der Größe Frankreichs auf dem Globus. Weiter und weiter dringt unser angespannter Blick ins Unergründliche hinaus. Fern, unermeßlich fern die Sterne am tiefen, drohenden Schwarz des Himmels. In weitem Bogen durchmißt die schimmernde Spur der Milchstraße das hohe Gewölbe. So leer scheint der Raum um uns, so unermeßlich groß

Und nun fängt es an.

Von Menschen war zu dieser Zeit noch keine Rede. Drachen schoben ihren ungeschlachten Schuppenleib durch brechende, über-



große Farne, ein feuchter, brütender Treibhausnebel lag über der Erde, die nur selten ein Sonnenstrahl erhellte. Rund hundertfünfzig Millionen Jahre vor unseren Tagen.

Um diese Zeit hieß es auf dem Sternnebel in den Zwillingen, fern im Weltall: Macht euch auf, wenn ihr noch zur Erde zurechtkommen wollt. Und die ganze Schar der Atome — Kalzium, Helium, Wasserstoff, Eisen — begann einhellig zu strahlen. Es ist ungewiß, ob sie sich damals ihrer Bedeutung bewußt gewesen sind. Sie hatten schließlich, solange sie denken konnten, nichts anderes getan als gestrahlt. Aber in eben jenem Augenblick, da der Plesiosaurus seinen kleinen, bösen Kopf auf einem unendlich langen Hals aus dem Wasser reckte, schlug für die Lichtwellen auf Neb Z die Schicksalsstunde „Ihr werdet einmal Rechenschaft über unseren Stern, über eure Heimat ablegen müssen. Haltet euch brav — macht uns keine Schande. Und grüßt Mr. Humason aus Kalifornien" Die Lichtwellen hatten keine Ahnung, wer Mr. Humason sein konnte. Sie konnten es auch gar nicht wissen — Amerika gab

und leer, und doch wissen wir, all diese fernen Wunder sind unsere nächsten Nachbarn. Eine Insel, eine flache, linsenförmige Scheibe im Raum; eine dichtbevölkerte, zusammengedrängte Schicksalsgemeinschaft von 100000 Millionen Riesensonnen, fliehend vor der größeren, weiteren Leere da draußen — das ist das Milchstraßensystem, in dem unsere Sonne ihren Platz hat.

Weit jenseits der Grenze liegen andere Systeme, andere Milchstraßen, andere Inseln im Nichts. Auf 100000 Millionen schätzt man ihre Gesamtzahl im All. Als Spiralnebel erscheinen sie uns, als leuchtende Lichträder; auch unsere Milchstraße wird, von oben betrachtet, diesen Anblick bieten.

Zehn Millionen Millionen — zehn Billionen — Kilometer durcheilt das Licht in einem Jahr. Aber Millionen Jahre braucht es von den Spiralnebeln bis zu uns — ja, der letzte sichtbare Nebel ist 150 Millionen Lichtjahre von uns entfernt, ein schwaches, blasses Lichtstäubchen. Seit ein paar Jahren gelingt es, auch diese erschreckende Spanne Nichts zu überbrücken, die uns von den Spiralnebeln trennt — seit auf der Mt. Wilson-Sternwarte in Kalifornien das Riesenfernrohr mit dem Zweiundeinhalb-Meter-Spiegel steht. Ein Wunderwerk der Wissenschaft und Technik, der riesige Spiegel; unerhörte Sorgfalt ist beim Bau nötig; so muß das Glas nach dem Guß fast unmerklich langsam abgekühlt werden — Monate hindurch wird die Temperatur vorsichtig, nur Grad für Grad, heruntergesetzt.

Aber wenn wir mit diesem Zauberinstrument den Himmel durchmustern, wenn unser Auge immer schärfer sieht — so erschrecken wir plötzlich: Die Spiralnebel jagen davon!

Lassen wir uns berichten, wie sich alles zutrug. Der Titel erscheint etwas dunkel:

sie vor hundertfünfzig Millionen Jahren verlassen hatten, der Stern im Nebel Neb Z. Da tauchte er, der winzige, zwergenhafte Erdball auf, der sich unheimlich langsam, wie es ihnen vorkam, um die Sonne drehte. Dort also!

Auf der Erde ging verschiedenes vor sich. Erdbeben, Konferenzen, Filme, Rennen und Boxkämpfe. Und eines schönen Tages fragte Mr. Humason auf dem Mt. Wilson-Observatorium: „Was ist denn heute dran? Neb Z — all right. Lassen Sie den großen Reflektor und den Spektrographen fertigmachen, Nelson." Mr. Humason ging zu Bett, er stand erst wieder um Mitternacht im Dämmerlicht der großen Kuppel. Weit war der Spalt geöffnet, klar und rein war die Nacht, und die Lichter von Los Angeles flackerten im Tal. „Fertig?", fragte er. „Alles in Ordnung?" Um diese Zeit hatten die ersten Lichtstrahlen die Jupiterbahn überschritten. In massiger Ruhe reckte sich der Arm des großen Fernrohrs in die Höhe. Ganz leise summte der Motor, der es unmerklich, ohne jede Erschütterung und gleichmäßig weiterdrehte, der Erddrehung entgegengesetzt, es mit dem Ost-West-Lauf der Sterne am Himmel mitführte, langsam zum Zenith hob und wieder senkte. Kalt und böse glitzerte der riesige, kostbare Spiegel von zweieinhalb Meter Durchmesser auf dem Grund des Rohrs, und klein und seltsam gedrungen hockte, wie ein mißgestalteter Zwerg, der Spektrographenansatz am Okular. Der Astronom warf einen Blick durch das Hilfsfernrohr — wie gut kannte er jeden Fleck am Himmel, und doch noch immer nicht gut genug. „Also los!" Und er schob sachte den Kassettenschieber zurück. Die Lichtstrahlen überschritten die Mondbahn, als der Astronom nach dem Schieber griff. Und sie waren heran, kaum daß die Platte ganz frei lag — sie schossen durch das Rohr auf den Hohlspiegel, sie ließen sich, die sie 150 Millionen Jahre in gerader Richtung durch den Weltraum gejagt waren, durch ein Stück Glas zur Seite lenken, sie folgten willig dem vorgeschriebenen Gang im Fernrohr und stürzten, zusammengedrängt, auf die wenigen Quadratzentimeter der Foto-

es noch nicht. Aber sie machten sich keine überflüssigen Gedanken und stürmten los, quer durch den unermeßlich leeren, dunklen Weltraum. Jahre, Jahrhunderte, Jahrtausende vergingen. Die Drachen vergingen und ihre Nachfolger; das Gesicht der Erde wandelte sich. Die Gletscher der Eiszeit krochen von Norden herab und begruben das Land unter ihrer eisigen Decke, und sie schmolzen wieder zusammen und ließen nur einen Haufen *aufgetürmter* Moränenblöcke zurück. Der Mensch entstand.

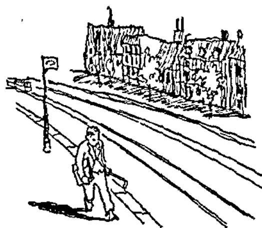
Die Lichtwellen durcheilten den Raum; jede Sekunde brachte sie 300000 km weiter.

Die ägyptischen Sklaven wälzten unter der Peitsche der Aufseher die ungeheuren Steinblöcke der Cheopspyramide übereinander, *lebten* und starben und zerfielen in Staub, Aufseher und Könige.

Amerika wurde entdeckt, in Europa wurde Newton geboren, Kepler und Kopernikus, die den Himmel ihrer Wissenschaft untertan machen wollten. Galilei durchsuchte die Sternenwelt *mit dem* Fernrohr, Olaf Römer maß die Lichtgeschwindigkeit — Herschel baute sein Spiegelteleskop, Bunsen und Kirchhoff entwickelten die



Spektralanalyse. Von all dem wußten die Lichtstrahlen nichts. Sie eilten starr und unentwegt durch den dunklen Raum, aber dann endlich tauchte weit vor ihnen ein winziges Lichtpünktchen auf. Das war ihr Ziel — die Sonne. Ein Stern sechster Größe. Und mit neuem Mut schossen sie weiter, 300000 km/sec. Sie kamen an den letzten Grenzstein, den Stern α-Centauri. Nach Kalifornien — vier Jahre stand in großen Buchstaben dort angeschrieben. „Hurra, Jungs", brüllte das immer vergnügte Kalziumlicht. „Vorwärts!" Immer größer wurde die Sonne, immer heller strahlte sie am schwarzen Himmel — klein, fast unsichtbar winkte ihre *Heimat*, die



Minuten? Nein, offenbar nicht, denn um 12 Uhr 10 ist der Wagen erst am Rathaus, und jetzt braucht er noch zwei oder drei Minuten, um mich einzuholen, der ich unterdessen ein paar Haltestellen weiterging. Mit anderen Worten — der zeitliche Abstand zweier Wagen ist größer geworden für mich, wenn ich vor der Bahn „fliehe". Die Frequenz ist gesunken.

Mein Freund, der in der gleichen Lage war, beschloß, der Bahn entgegenzugehen; er traf denselben Wagen nicht erst um 12 Uhr 13, auch nicht um 12 Uhr 10 — sondern schon ein paar Minuten vorher, um 12 Uhr 8, denn er fuhr ja mit der Bahn wieder das Stück zurück und war mit ihr um 12 Uhr 10 am Rathaus und 12 Uhr 13 an meiner Haltestelle. Für ihn war die nächste Bahn schon nach acht Minuten erschienen — für ihn hatte sich die Frequenz vergrößert. Die Analogie ist leicht zu verstehen. Nimm an, ein Geiger geigt neben dir ununterbrochen ein „a". Das „a" ist ein periodischer Vorgang, Schallwellen bestimmter Frequenz. Aber setze dich ins Auto und fahre ihm davon, fliehe vor den Schallwellen. Dann sinkt die Frequenz des Tons wie vorhin die der Straßenbahn. Man hört nicht mehr a — man hört einen tieferen Ton. Und fährst du mit dem Auto der Geige entgegen, so hörst du einen etwas höheren Ton, weil die Frequenz steigt. Die nächste Luftschwingung erreicht

platte, die ihnen im Wege stand. Und sie begannen ihr Werk — die chemische Umlagerung der lichtempfindlichen Schicht. Die ganze Nacht prasselte dieser Regen von Lichtwellen durch den weit offenen Schlund des Riesenfernrohrs auf die kleine Platte, dann kurz vor Morgengrauen, bevor die erste störende Dämmerung erschien, schrillte eine Weckuhr, und der Kassettenschieber schloß sich von selbst. Vergebens schossen die Lichtstrahlen des fernen Sterns auf das Observatorium — sie trafen auf geschlossene Türen und gingen jämmerlich zugrunde. Zu spät. Eine Minute Verspätung auf diesem Weg von Jahrmillionen. Zur Erkenntnis konnten sie nichts mehr beitragen. Möglicherweise haben sie geweint — wer kann es wissen?

Humason aber kümmerte sich um nichts dergleichen — er nahm die Kassette an sich, brachte sie zur Dunkelkammer und erweckte ein paar Linien auf der Platte. Das Licht der Sterne — Spektrallinien (siehe Seite 246). Er kannte sie gut, diese Linien. Kalzium, Wasserstoff, Helium enthielt Neb Z — es war überall das gleiche. Nichts Neues im Weltall! Nur — die Linien waren „verschoben". Sie waren nicht an der Stelle, an die sie hingehörten — die bekannte gelbe D-Linie, das Natrium, etwa erschien tiefrot. Das war wohl etwas, und Humason nickte befriedigt. Er wußte warum. Der Nebel war gewandert, er hatte zu der Zeit, als er das Licht ausstrahlte und die Drachen sich kopfüber ins Meer stürzten, eine schnelle Flucht von der Erde fort gezeigt. Dies eben sagte ihm die ‚Rotverschiebung'. Wieso?

Man wartet auf die Straßenbahn. Sie ist natürlich gerade fort. Nun ist, physikalisch gesprochen, eine Straßenbahn ein periodischer Vorgang mit der Frequenz zehn Minuten — denn alle zehn Minuten kommt eine neue — und mit welchem bestimmten Wagen ich fahre, ist schließlich vollkommen gleich. Aber gesetzt, ich habe um 12⁰⁰ meine Bahn am Rathaus verfehlt, es ist herrliches Wetter, und ich beschließe, den Schienen entlang in die Stadt zu trotten — bis mich die nächste Bahn einholt. Wann wird das sein? Nach zehn

Lichtquelle, sei es ein Autoscheinwerfer oder der Nebel Neb Z, muß mir etwas schneller schwingend erscheinen, wenn es auf mich zugelaufen kommt — und ihr Licht muß nach niedrigeren Frequenzen, nach Rot verschoben sein, wenn die Lichtquelle mich flieht. Freilich ist die Verschiebung gering, solange die Geschwindigkeit klein bleibt. Stark — der deutsche Nobelpreisträger Stark, bekannt durch den von ihm entdeckten Stark-Effekt, die Veränderung der Spektrallinien in einem elektrischen Feld — hat tatsächlich mit Hilfe der Rotverschiebung die Geschwindigkeit der winzig kleinen Ionen, der Kanalstrahlen, in Entladungsröhren gemessen, und — seltsames Zusammentreffen — mit der gleichen Methode bestimmt Humason die Bewegung der Millionen Lichtjahre entfernten Riesensonnen im Weltenraum. Einem Gesetz sind beide unterworfen.

Die Spiralnebel laufen einmütig vor uns davon. Sie fliehen, anders als ein Verbrecher auf der Flucht vor dem Polizisten, um so rascher, je weiter sie von uns entfernt sind. Und sie fliehen rasch — der fernste Nebel bringt in jeder Sekunde weitere 25 000 km zwischen sich und uns. Unheimliche Geschwindigkeiten — sogar der Astronomie sind sie unheimlich; sie wüßte keine Erklärung dafür zu geben, warum die Nebel so pfeilschnell durch den Raum jagen — ganz abgesehen davon, daß wir gar nicht recht sagen können, wohin die Nebel wollen, da der Raum doch geschlossen sein soll. So sagen wir heute: Sie jagen gar nicht durch den Raum. Der Raum selbst jagt mit ihnen davon!

Wir wissen, daß wir uns den Raum nach Einstein als eine Art Überkugel vorzustellen haben. Aber Friedmann und Lemaitre haben gezeigt, daß eine solche Einstein-Welt nicht existieren kann: Sie ist unstabil, sie muß sofort beginnen, sich auszudehnen oder sich zusammenzuziehen. Und es scheint, als wenn sich das Universum für Ausdehnung entschlossen hat. Es nähert sich damit einem von de Sitter vorgeschlagenen Typ. Wie eine Seifenblase, wie ein großer Kinderluftballon, der immer weiter aufgeblasen wird, wächst die Welt — nun entfernen sich die einzelnen Buchstaben der

dein Ohr eben deshalb ein wenig zu früh, weil du ihr ein Stück entgegenkommst. Dasselbe würde sich offenbar ereignen, wenn man den Geiger ins Auto setzt und selber stillsteht. Solange er sich nähert, geigt er scheinbar zu hoch, sobald er bei dir vorbei ist, fällt der Ton, und während er sich von dir entfernt, spielt er, wie du glaubst, zu tief. Die beiden Fälle sind keine graue Theorie — mit etwas Aufmerksamkeit kann man sie leicht wahrnehmen, ob man nun im D-Zug an einer Fabriksirene vorbeifährt, oder ob dich eine pfeifende Lokomotive oder ein hupendes Auto überholt. Immer diese scheinbare Verfälschung — die Verschiebung der Tonhöhe, der Frequenz. Sie heißt die ‚Doppler-Verschiebung'; der Physiker Doppler hat die Erscheinung zuerst entdeckt.

Der Doppler-Effekt führt in seiner strikten Verfolgung auf seltsame Schlußfolgerungen. Bei der Straßenbahn scheint es uns selbstverständlich: Die Frequenz nämlich wird Null, wenn wir uns mit der Geschwindigkeit der Straßenbahn selbst bewegen. Es ist klar — dann kann uns keine Bahn mehr einholen — oder müßte man sich nicht sehr wundern, wenn man nichtsahnend auf einem Straßenbahnwagen der Linie 177 steht und plötzlich von hinten eine zweite 177 auftaucht, um höhnisch lächelnd an uns vorbeizufahren?

Das gibt es nicht. Aber auf den Ton angewandt, heißt das: wenn ich mich mit Schallgeschwindigkeit von der Geige entferne, so höre ich nichts. Die neuen Rennflugzeuge sind schon fast bei zweidrittel Schallgeschwindigkeit angelangt. Dies letzte Drittel noch — und dann hören wir nichts mehr von ihnen, bis sie heran sind und das Gebrüll der tausendpferdigen Motoren plötzlich aufklingt und dann tief herabsinkt. Dem Flieger selbst müßte jeder Laut der Welt vor ihm unnatürlich hoch und zwitschernd wie auf einer viel zu schnell gespielten Grammophonplatte erscheinen, und alles würde in absolutes Schweigen zurückfallen, sobald es hinter ihm liegt.

Uns und Humason aber interessiert dies: Licht ist ein Schwingungsvorgang so gut wie jeder andere. So muß auch das Licht diese Doppler-Verschiebung zeigen. Das Licht ein und derselben

aufgedruckten Reklameschrift voneinander. Die Buchstaben aber sind wir — unsere Milchstraßen und Spiralnebel. So ist nicht gerade die Erde der Stein des Anstoßes — jeder flieht vor jedem! Das ist die Auffassung heute. Man kann nicht gerade sagen, daß sie vollkommen bewiesen wäre; aber die Rotverschiebung spricht eine deutliche Sprache, und wir sind sehr geneigt, sie als das rote Schlußlicht der fortjagenden Nebel zu deuten.

Die Schwerkraft sucht die Milchstraßen zusammenzuhalten. Es gibt eine Kraft, die ihr entgegenwirkt, eine allgemeine Abstoßung im Weltall. Vor langer Zeit einmal mögen sich Anziehungskraft und Abstoßung das Gleichgewicht gehalten haben; damals war die Welt in Ruhe. Aber mittlerweile hat die Abstoßung die Oberhand gewonnen, und nun wird ihre gegenseitige Anziehung immer schwächer, je weiter die Milchstraßen sich voneinander entfernen. Immer mehr überwiegt die Abstoßung, immer wilder wird die Flucht nach außen. So rasch ist diese Flucht, so überstürzt, daß sie den Forschern schwere Sorgen macht: Bisher brauchten sie bei ihren Theorien über das Alter der Welt mit der Zeit nicht zu geizen. Auf eine Handvoll Jahrmillionen kam es nicht an. Aber nun, da wir die Weltflucht der Nebel kennen, jetzt, da wir wissen, daß sich der Radius der Welt alle 1300 Millionen Jahre verdoppelt, können wir nicht mehr so willkürlich mit den Äonen umgehen.

Heute empfangen wir noch Lichtbotschaften von den Spiralnebeln, aber einmal werden sie rascher fliehen, als das Licht zu folgen vermag. Dann wird kein Nebel mehr etwas vom anderen erfahren können; für alle Zeiten sind sie voneinander abgeschnitten. Jedes Milchstraßensystem für sich wird noch immer zusammenhalten; aber die größten Riesenfernrohre können uns dann nichts mehr außerhalb der Milchstraße zeigen.

Das Universum dehnt sich aus. Nach Jahrmillionen wird nichts da sein als ein großer, geschlossener Raum — in dem winzige, verlorene Bruchstücke, die Milchstraßen, treiben. Allein für sich. Hier eine, dort eine. Verlorene Nichtse im weiten, leeren Raum.

„Es war einmal eine Lichtwelle . . ."

Die Relativitätstheorie mit ihrem unheimlichen und großartigen Schlußbild der in wilder Flucht auseinanderjagenden Nebel, mit ihrer Leugnung der absoluten Gleichzeitigkeit, mit ihrer Behauptung der Wesensverwandtschaft von Masse und Energie, mag anfangs ungeheuerlich und revolutionär erschienen sein, wie selten eine physikalische Theorie. Sicherlich, sie ist voll gedanklicher Kühnheit und Rücksichtslosigkeit, physikalisch aber bedeutet sie eine folgerichtige Weiterentwicklung der alten Vorstellungen. Als wollte der Geist der klassischen Physik das abgeschlossene Jahrhundert stürmischer Entwicklung mit einer letzten Anstrengung krönen, als wollte er in einer groß geplanten Schau eine Zusammenfassung seiner Methoden und seiner Möglichkeiten geben, so wurde der Dachbau der Relativitätstheorie errichtet, die wirklich keine Weltanschauung ist, sondern eine physikalische Theorie — nichts weiter. Sie erlaubt uns, die Naturgesetze allgemeiner zu formulieren, als wir es bisher konnten. Für gewisse Grenzfälle sagt sie etwas andere Ergebnisse voraus als die alte Physik, und die Versuche haben ihr recht gegeben. Als die Physiker ihre Wissenschaft mit den Forderungen der Relativitätstheorie in Einklang gebracht hatten — und das ging recht gut —, überschauten sie ihr Werk voller Zufriedenheit und freuten sich, daß sie so viel wußten. Wenn man sich heute freuen kann, so nur darüber: Wie klar wir eingesehen haben, daß wir nichts wissen.

Wie sieht sich die Welt an, soweit wir sie bis jetzt beurteilen können? Das Material der Welt ist die Materie: Atome, einzelne kleine Teilchen im leeren Raum, ein jedes für sich. Rutherford hat vor unseren erstaunten Augen den Feinbau der Atome noch weiter zerlegen können und das Wirbelwerk aus positiver und negativer

„Es war einmal eine Lichtwelle . . ."

Die Relativitätstheorie mit ihrem unheimlichen und großartigen Schlußbild der in wilder Flucht auseinanderjagenden Nebel, mit ihrer Leugnung der absoluten Gleichzeitigkeit, mit ihrer Behauptung der Wesensverwandtschaft von Masse und Energie, mag anfangs ungeheuerlich und revolutionär erschienen sein, wie selten eine physikalische Theorie. Sicherlich, sie ist voll gedanklicher Kühnheit und Rücksichtslosigkeit, physikalisch aber bedeutet sie eine folgerichtige Weiterentwicklung der alten Vorstellungen. Als wollte der Geist der klassischen Physik das abgeschlossene Jahrhundert stürmischer Entwicklung mit einer letzten Anstrengung krönen, als wollte er in einer groß geplanten Schau eine Zusammenfassung seiner Methoden und seiner Möglichkeiten geben, so wurde der Dachbau der Relativitätstheorie errichtet, die wirklich keine Weltanschauung ist, sondern eine physikalische Theorie — nichts weiter. Sie erlaubt uns, die Naturgesetze allgemeiner zu formulieren, als wir es bisher konnten. Für gewisse Grenzfälle sagt sie etwas andere Ergebnisse voraus als die alte Physik, und die Versuche haben ihr recht gegeben. Als die Physiker ihre Wissenschaft mit den Forderungen der Relativitätstheorie in Einklang gebracht hatten — und das ging recht gut —, überschauten sie ihr Werk voller Zufriedenheit und freuten sich, daß sie so viel wußten. Wenn man sich heute freuen kann, so nur darüber: Wie klar wir eingesehen haben, daß wir nichts wissen.

Wie sieht sich die Welt an, soweit wir sie bis jetzt beurteilen können? Das Material der Welt ist die Materie: Atome, einzelne kleine Teilchen im leeren Raum, ein jedes für sich. Rutherford hat vor unseren erstaunten Augen den Feinbau der Atome noch weiter zerlegen können und das Wirbelwerk aus positiver und negativer

Elektrizität aufgezeigt. Auch die Elektrizität ist aus Atomen aufgebaut. Es gibt Elektronen und Protonen (neben ein paar Positronen); die Wirkungen der Elektrizität aber werden von der Feldtheorie Faradays und Maxwells überzeugend beherrscht; der schönste Erfolg war Maxwells theoretische Voraussage der elektrischen Wellen (die dann Heinrich Hertz aufgefunden hat und die heute als Rundfunkwellen über die Erde ziehen) und seine Erklärung des Lichts als elektromagnetische Schwingung. Die Fülle der Versuche, die von Young und Fresnel ausgehen, der „helle Schatten" Poissons, die Gitter, beweisen beredt genug die Wellennatur des Lichts. Aber noch ist unsere Kenntnis vom Licht reichlich dürftig. Gewiß, wir haben eine Biographie des Lichts, eine Beschreibung seines Lebens, die zumindest den Vorzug der Kürze hat: Die Maxwellschen Gleichungen. Sie eben sagen aus, daß Licht eine elektromagnetische Schwingung darstellt, sie geben uns auch, wenn wir sie recht zu lesen verstehen, Auskunft über alle Interferenz- und Beugungserlebnisse, die einem Lichtstrahl in seinem Dasein zustoßen; sie beschreiben uns, was ein Lichtstrahl in einem Mikroskop oder einer Fotokamera erlebt — sie erzählen alles, was ein Lichtstrahl überhaupt durchmachen kann. Aber wenn wir voll Neugier die erste Seite der Biographie aufschlagen, um über die Herkunft des Lichts Auskunft zu erhalten, werden wir schwer enttäuscht. Die erste Seite fehlt!



Die Biographie beginnt gleich mit der ausgewachsenen Lichtwelle. „Es war einmal eine Lichtwelle . . ." Allenfalls noch ein versteckter Hinweis auf die etwas dunkle Herkunft: „Sie entstammte einem Atom". Die Lichtwelle also spazierte aus dem Atom heraus und die Tür fiel hinter ihr ins Schloß. Aber gerade das möchten wir wissen, was hinter der verschlossenen Tür vor sich ging. Wie

hat das Atom das Licht erzeugt? Es ist eine verzeihliche Neugierde, wenn wir über diesen Schöpfungsvorgang Bescheid wissen wollen und deshalb voller Neugier nach dem ersten Kapitel suchen. Gerade das erscheint uns ja am Licht als bedeutungsvoll, daß es neu geschaffen werden kann. In eine Kerze, eine Glühlampe wird das Licht nicht erst „hineingefüllt" — wie die Schildbürger das Licht mit Eimern ins Rathaus hineintragen wollten — es wird einfach neu erzeugt.

Also — wie entsteht Licht? Was weiß man davon? Wer weiß etwas darüber? Wir wollen gleich bei den richtigen Leuten anfangen, bei den Spektroskopikern.

Wir wissen schon, die Spektroskopiker, die „Teeschmecker der Optik", haben Newton zum Vorbild; sie beschäftigen sich damit, z. B. das Sonnenlicht in seine Farben zu zerlegen — durch ein Prisma, durch Gitter oder andere Interferenz-Apparate; sie erhalten ein schönes buntes Band. Jede Stelle dieses Bandes hat eine andere Farbtönung — eine andere Wellenlänge. Aber man braucht nicht gerade die Sonne zu nehmen; alle festen oder flüssigen glühenden Körper geben so ein Lichtband, ein „Kontinuum', wenn man ihr Licht spektroskopisch untersucht. In dem leuchtenden Bild, das sie malen, sind alle Farben verschmiert, sie gehen ohne Trennungsstrich ineinander über.





Es gibt Maler, die so malen, mit ineinander verfließenden Farben. Andere, die Impressionisten, gehen anders vor: sie setzen Farbstrich neben Farbstrich, fein säuberlich getrennt. Auch die Physik kennt solche Impressionisten: Gase und Dämpfe.

Ein leuchtendes Gas — zum Beispiel Neonlicht! — sendet kein Lichtband aus; wenn man sein Licht von einem Spektroskopiker zerlegen läßt, so findet er ein ‚Linienspektrum': eine Reihe einzelner bunter Linien, fein säuberlich nebeneinander gesetzt.

Streut man mit kühnem Schwung etwas Kochsalz in die Gasflamme, so färbt sie sich augenblicklich leuchtend gelb. Immer, wenn eine Spur Natriumdampf in einer Flamme leuchtet oder wenn er elektrisch zum Leuchten angeregt wird, sendet er ein warmes gelbes Licht aus. Wenn wir das Kochsalzlicht auf den Spalt des Prismen-Apparates fallen lassen — was gibt das? Man sieht eine helle, gelbe Linie. Ihre Wellenlänge beträgt rund 0,59 μ. Diese gelbe Linie — D-Linie nennt man sie — ist eine Art Leitmotiv, eine untrügliche Spur. Winnetou war bereits ein großer Fährtenleser, und Sherlock Holmes wußte aus einem Stück Ton oder Erde von der Stiefelsohle des Ermordeten die ganze Lebensgeschichte seiner Großmutter zu deuten wie nur irgendeine Kaffeesatzschwester. Ein Klümpchen Ton, ein umgeknickter Zweig — aber die Spektroskopiker sind ihm noch über. Sie brauchen nur einen hellen, gelben Strich, fein, winzig fein, und sie wissen mit absoluter, mit hundertprozentiger Gewißheit — hier war Natrium! Es gibt gar keinen Zweifel. Wo immer in einer Flamme die gelbe Linie auftaucht, muß Natrium vorhanden sein; mag es sich auch noch so gut tarnen, mag es auch noch so sehr versteckt und in noch so geringer Menge vorhanden sein. Denn — und das ist das Entscheidende — kein anderes Element strahlt diese gelbe Linie bei 0,59 μ aus als eben Natrium. Es ist ein untrügliches Kennzeichen. Unfaßbar gering ist die — ein millionstel mg — Menge Natrium, die noch hinreicht, um die Linie zu erzeugen.

Bunsen und Kirchhoff gelang diese Entdeckung — sie sind damit die Begründer der Spektralanalyse. Jedes Element gibt andere Linien, ein neues ‚Linienspektrum'. Mißt man die Linien, so kennt man auch das Element. Ganz verschieden ist bei jedem Linienzahl und Wellenlänge. Nur vier sichtbare Linien gibt ein Wasserstoff-Atom. Die bekannteste ist die rote Linie bei 0,65 μ Wellenlänge, die den Namen Hα führt. Viele tausend Linien entstammen dem leuchtenden Eisendampf — aber auch sie charakteristisch und wohlgeordnet. Die Forscher haben sich bemüht, die Wellenlängen der

Linien immer genauer zu messen. Nur zu diesem Zweck erdachte man großartige Interferenz-Apparate, schnitt Rowland mit unfaßbarer Genauigkeit seine Beugungsgitter. Und heute kennt man die Wellenlängen der Linien auf einige billiontel Zentimeter genau, eine Genauigkeit, als wollte man die Strecke Köln—Königsberg auf einige Millimeter genau ausmessen. Das ist spektroskopische Genauigkeit! Die Physik kann sie gut gebrauchen.

Laboratorium im Weltall

Fraunhofer entdeckte zuerst die Schönheitsfehler der Sonne — schwarze senkrechte Striche im bunt getönten Band ihres Spektrums. Nun, das ist nichts als ein Negativ — so sieht es aus, und das ist es auch. Das photographische Negativ eines Linienspektrums. — Man weiß, wie bei dem Photokopierverfahren aus dem Negativ der Platte, bei dem der Himmel und die Gesichter ganz schwarz und der dunkle Anzug rein weiß aussieht — wie aus dem Negativ das positive Bild wird: die dunklen Stellen verschlucken jetzt das Licht, die hellen lassen es hindurch und geben eine Schwärzung auf dem Papier, so daß zum Schluß auf dem fertigen Abzug doch wieder der dunkle Anzug dunkel und Gesicht, Kragen und Himmel hell werden. Wenn Atome Licht aussenden können, so müssen sie es auch verschlucken können. Wirf einem Atom gelbes Licht vor — es frißt es auf. Später einmal wird es dasselbe Licht wieder ausstrahlen. Das bedeutet: wenn man weißes Licht durch Natriumdampf schickt — so geht das meiste ungeschoren durch — von der Streuung abgesehen. Aber im gelben Teil des Spektrums klafft eine feine schwarze Lücke, ein Nichts — dort, wo sonst die gelbe D-Linie ihren Platz findet. Es ist ein Negativ; vornehmer gesagt: ein Absorptionsspektrum. Das Sonnenspektrum zeigt ein Gewirr solcher Absorptionslinien. Man nimmt an, daß der weißglühende Sonnenkern ein helles kontinuierliches Licht ausstrahlt und daß von den Atomen in der Sonnenatmosphäre, die in dichten

Dampfwolken den Kern umgeben, aus diesem Urgrund jedes sein spezielles Licht heraussaugt, verschluckt, und nun ein lückenhaftes zerzaustes Restlicht übrigbleibt.

Aber wer es gelernt hat, sieht in einem Negativ ebensoviel wie in einem Positiv. Wenn ein berüchtigter Gauner ständig mit Damenstrümpfen handelt, so wird die Polizei bei einem Strumpfdiebstahl zunächst an ihn denken — und nicht an Messerkarl. Das „gestohlene Licht", die schwarzen Linien verraten die Elemente — und wenn die Wellenlänge *0,65 μ fehlt, so weiß man: aha,* Wasserstoff, und wenn ein schwarzer Strich bei 0,59 *μ auftaucht*, so heißt dies: Natriumdampf in der Sonnenatmosphäre. Man findet so beinahe alle Elemente, die man kennt — nicht mehr jedenfalls. Wirklich nicht mehr?

Um 1890 entdeckte Ramsay ein paar besonders fette Absorptionslinien — sie waren seit alters her bekannt, aber man hatte sie nicht zu deuten vermocht — in der Erdatmosphäre wieder. Das war die erste Spur, das erste Auftreten der Diebesware. Von hier bis zum Ausfindigmachen des Diebes selbst war nur noch ein Schritt, kein leichter allerdings. Ramsay fand ihn — ein seltsames Gas, das in der Erdatmosphäre in ganz geringer Menge vorkommt und deshalb so lange verborgen blieb, weil es chemisch ganz und gar nicht zu fassen ist. Es verbindet sich mit nichts, es bleibt für sich — ein Edelgas. Er nannte es Helium (Helios = Sonne). Dies war das Element, das erst auf der Sonne nachgewiesen wurde — durch seine Absorptionslinie — und das sich dann in der Erde wiederfand.

Babcock maß sogar den „Zeeman-Effekt' der Sonnenlinien. Er stellte fest, daß sie durch magnetische Felder in den schwarzen Sonnenflecken zerspalten wurden, daß aus einer Linie viele werden können — und er bestimmte auf diese Weise die Stärke des Magnetfeldes der Sonne. Seine Lichtquelle und sein Magnetfeld befanden sich 150 000 000 km von ihm entfernt. Laboratorium im Weltall!

Auf diese Weise hat man den gesamten Sternenhimmel spektrographisch erfaßt. Und immer hat sich gezeigt, daß man alte Bekannte wiedertrifft. Wie schon die Meteore, wenn sie aus dem Weltraum niederstürzen, nur immer die gleichen Bestandteile — wesentlich Nickeleisen — zeigen, so beweist die Spektroskopie es eindeutig: das ganze Weltall ist aus dem gleichen Stoff aufgebaut — aus den zweiundneunzig Elementen, die wir hier auf der Erde gefunden haben.

Wie stark unser Vertrauen in die Einheitlichkeit der Welt begründet ist, zeigt das berühmte Beispiel der Nebellinien. In Sternnebeln fand man Spektrallinien bemerkenswerter Helligkeit, die unter keinen Umständen einem irdischen Element zuzuordnen waren. Niemals waren auf der Erde solche Linien zu finden. Fast schien es, als würde sich dort, in der grauen Nebeltiefe des Raums, ein sonderbares, geheimnisvolles Element umhertreiben — Nebulium wurde es genannt —, ein wirklich origineller Grundstoff. Bowen in Amerika lichtete den Nebel. Er entdeckte, daß dort nur Stickstoff war. Stickstofflinien, die nur auf der Erde unter den Bedingungen unserer Laboratorien niemals entstehen können, die bei uns „verboten" erscheinen, weil sich die Atome gegenseitig stören. Bloß in der Weltenferne des Raums, wo Hunderte von Metern und Kilometern zwischen einem Atom und dem nächsten liegen — bloß dort finden die Stickstoff-Atome Muße, in ungestörter Ruhe die „verbotene Nebellinie" auszustrahlen. Laboratorium im Weltall! Manche ähnliche Linie — z. B. eine helle grüne im Nordlicht — hat man später unter gewissen Tricks auch im Laboratorium zum Leuchten gebracht. Manche, wie die grüne Linie der Sonnenkorona, ist bis heute noch ein ungelöstes Rätsel. Aber kein Mensch zweifelt daran, daß auch diese Linie eines Tages erklärt werden wird — auf ganz „natürliche" Weise. Daß die Bedingungen, die Verhältnisse im Raum oder auf der Sonne andere sind als im Laboratorium des Physikers — das kann niemand wundern. Der Grundstoff der Welt aber ist überall der gleiche.

Dampfwolken den Kern umgeben, aus diesem Urgrund jedes sein spezielles Licht heraussaugt, verschluckt, und nun ein lückenhaftes zerzaustes Restlicht übrigbleibt.

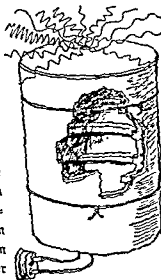
Aber wer es gelernt hat, sieht in einem Negativ ebensoviel wie in einem Positiv. Wenn ein berüchtigter Gauner ständig mit Damenstrümpfen handelt, so wird die Polizei bei einem Strumpfdiebstahl zunächst an ihn denken — und nicht an Messerkarl. Das „gestohlene Licht", die schwarzen Linien verraten die Elemente — und wenn die Wellenlänge 0,65 μ fehlt, so weiß man: aha, Wasserstoff, und wenn ein schwarzer Strich bei 0,59 μ auftaucht, so heißt dies: Natriumdampf in der Sonnenatmosphäre. Man findet so beinahe alle Elemente, die man kennt — nicht mehr jedenfalls. Wirklich nicht mehr?

Um 1890 entdeckte Ramsay ein paar besonders fette Absorptionslinien — sie waren seit alters her bekannt, aber man hatte sie nicht zu deuten vermocht — in der Erdatmosphäre wieder. Das war die erste Spur, das erste Auftreten der Diebesware. Von hier bis zum Ausfindigmachen des Diebes selbst war nur noch ein Schritt, kein leichter allerdings. Ramsay fand ihn — ein seltsames Gas, das in der Erdatmosphäre in ganz geringer Menge vorkommt und deshalb so lange verborgen blieb, weil es chemisch ganz und gar nicht zu fassen ist. Es verbindet sich mit nichts, es bleibt für sich — ein Edelgas. Er nannte es Helium (Helios = Sonne). Dies war das Element, das erst auf der Sonne nachgewiesen wurde — durch seine Absorptionslinie — und das sich dann in der Erde wiederfand.

Babcock maß sogar den ‚Zeeman-Effekt' der Sonnenlinien. Er stellte fest, daß sie durch magnetische Felder in den schwarzen Sonnenflecken zerspalten wurden, daß aus einer Linie viele werden können — und er bestimmte auf diese Weise die Stärke des Magnetfeldes der Sonne. Seine Lichtquelle und sein Magnetfeld befanden sich 150 000 000 km von ihm entfernt. Laboratorium im Weltall!

gekauft, Energiequanten. Und das Problem, von dem ich ausging, war seit langem von hohem theoretischem Interesse: es war die Hohlraum-Strahlung."

Der Hohlraum ist ein Ofen, ein glatter, hohler Zylinder mit Asbest umwickelt. Er wird innen stark geheizt, durch eine Glühspirale zum Beispiel; nun laufen die Wärmewellen im Zylinder hin und her, bis sie durch ein kleines Loch im Deckel in die Welt hinausstrahlen. Wellen aller möglichen Wellenlängen treiben sich im Hohlraum umher und werden schließlich ausgestrahlt — manche stark, manche schwächer.



Die Aufteilung der vorhandenen Energie auf die Wellenlängen wurde genau gemessen, und es galt eine Theorie zu finden, die die Meßkurven erklären konnte. Aber man mußte einsehen, daß das Problem nicht mit den Mitteln der klassischen Physik zu lösen war. So sah sich Planck zu dieser entscheidend revolutionären Annahme gezwungen: Auch die Energie dieser Wärmewellen, die strahlende, elektromagnetische Schwingungsenergie, besteht aus Atomen. Es ist eine Ironie des Schicksals, daß gerade ein so im besten Sinne konservativer, klassischer Geist wie Planck das neue Jahrhundert mit dieser umstürzenden Idee einleitete, daß er fast gegen seinen Willen zur Quantenhypothese gezwungen wurde. Die Ideen sind manchmal stärker als ihre Schöpfer!

Man kann fragen, ob der Hohlraum-Versuch Grund genug zur Annahme einer so ketzerischen Theorie sein kann. Ein einziges Experiment, und sei es noch so wichtig, vermag natürlich keine Theorie zu stützen oder schon zu rechtfertigen — wohl allerdings zu wider-

Was Planck dazu sagte:

Scheint das nicht wie ein Hinweis darauf, daß tatsächlich unser Wissen einer Grenze zustrebt — daß wir wirklich schon etwas von der Welt wissen? Niemals, das ist klar, werden uns die wissenschaftlichen Probleme fehlen, immer wird die Forschung weiterzugehen haben. Aber wie die Entdeckungen auf der Erde notwendig ein Ende fanden, als die letzten weißen Flecken von der Landkarte verschwunden waren, so werden auch die Entdeckungen im Weltall aufhören müssen. Zwischen den zweiundneunzig Elementen kann man keine mehr finden — das steht fest. Vieles spricht dafür, daß wir auf den verschiedensten Gebieten solche Grenzen erreicht haben. Die Wissenschaft der Zukunft wird sich nicht damit begnügen können, die Tatsachen aufzuzeichnen, wie sie sich bieten — sie wird bewußte Fragen, bestimmte Fragen an die Natur richten müssen und unsere Erkenntnis nicht ausweiten, sondern vertiefen. Es wird eine vertikale, keine horizontale Wissenschaft sein.

Die Spektroskopiker haben uns enttäuscht. Wir wollten von ihnen wissen, wie das Licht entsteht — sie sind der Frage geschickt ausgewichen und haben uns bis in die Tiefen des Weltraums geführt. Der einzige Anhaltspunkt, den sie uns gegeben haben, war dies: Ein ungestörtes Atom in einem leuchtenden Gas sendet kein Lichtband aus, sondern eine Reihe scharf abgesetzter Linien. Warum — das können sie uns nicht sagen.

Fragen wir weiter; fragen wir einen der ganz Großen aus dem Reiche der Physik, den deutschen Nobelpreisträger Geheimrat Planck, den Schöpfer der Quantentheorie.

„Wann immer, Herr Geheimrat, ich einen der heutigen Physiker gebeten habe, mir ein wenig über den Ursprung seiner neuen Theorie zu erzählen — er begann unweigerlich: ‚Seit Planck die Existenz der Energiequanten erkannt hat . . .' Was hat es damit auf sich?" „Nun", sagt Geheimrat Planck, „am einfachsten läßt es sich wohl so ausdrücken: Die strahlende Energie, die Energie der elektromagnetischen Schwingungen, besteht genau wie die Materie aus Atomen. Die Energie-Atome habe ich ‚Quanten'

so habe ich fünfhundertzwölf Zentimeter: Die Zahl der Zentimeter wächst im selben Maße wie die Zahl der Zoll, denn das Verhältnis von Zoll zu Zentimetern ist immer gleich:

$$\frac{\text{Zoll}}{\text{Zentimeter}} = 2{,}56.$$

Wir sagten: Die Energie ist um so größer, je größer die Schwingungszahl ist. Wenn sich die Schwingungszahl verdoppelt, verdoppelt sich auch die Energie. Man kann auch sagen: Das Verhältnis von Energie zu Schwingungszahl ist immer gleich oder als Bruch:

$$\frac{\text{Energie}}{\text{Schwingungszahl}} = \text{immer dasselbe.}$$

Aber welche Zahl haben wir hier für „immer dasselbe" einzusetzen?

Man muß durch Experimente bei der Natur anfragen, für welchen Umrechnungsfaktor sie sich entschieden hat, und gegen ihre Entscheidung gibt es keine Berufung — obwohl der Faktor äußerst klein ausfällt. Er beträgt

0.000 000 000 000 000 000 000 000 006 55

oder in der Schreibweise der Physik und Mathematik: $6{,}55 \times 10^{-27}$, und das ist zweifellos nicht groß. Aber der Faktor ist wichtig genug für die Physik; er hat einen eigenen Namen bekommen: das ‚elementare Wirkungsquantum', und wird zur Bequemlichkeit mit „h" bezeichnet. Wir können also die Gleichung kurz so schreiben:

$$\frac{\text{Energie E}}{\text{Schwingungszahl } \nu} = h; \text{ oder abgekürzt: } \frac{E}{\nu} = h;\ E = h \cdot \nu$$

wenn „E" die Energie, „ν" die Schwingungszahl symbolisiert. Diese Energiemenge h ν also ist das **Quant** — die kleinste Energieeinheit, das Energieatom der Welle mit der Schwingungszahl ν.

Die Energie ist ‚gequantelt'. Im Grunde braucht uns diese Tatsache nicht zu überraschen. Es gibt ja auch Elektrizitätsquanten — die Elektronen. Trotzdem, die Unheimlichkeit des Energiequants

legen. Experimente sind leider immer negative Zeugen, wenn man nicht gerade Zahlenwerte mißt. Sie schließen aus und immer weiter aus; sie können wunderschöne Ansichten mit einemmal zunichte machen; sie geben aber niemals von sich aus einen positiven Bescheid. Immer liefern sie nur Rohmaterial — immer ist die Gedankenarbeit, die Synthese einer Theorie notwendig. So kommt es, daß sich eine Theorie in ihrer Bedeutung nicht einzig nach den Experimenten richtet, die sie erklärt. Es gibt eben Theorien, denen ihre innere Wahrscheinlichkeit an der Stirn geschrieben steht. Die Quantentheorie gehört dazu, und sie rechtfertigte später das Vertrauen, das ihr entgegengebracht wurde.



Energie besteht aus Atomen. Der Hohlraum verspritzt seine Energie nicht wie ein Wasserschlauch — er schöpft sie Eimer um Eimer heraus, wie ein Koch tagein, tagaus die gleiche Portion Suppe mit seiner großen Kelle in die Näpfe gießt. Nun gibt es freilich große und kleine Kellen, und somit gibt es große und kleine Portionen. Die Energie-Atome haben verschiedene Größen — sie sind um so größer, je größer die Schwingungszahl der elektromagnetischen Welle ist. Wir erinnern uns daran, daß man Schwingungszahlen nach ‚Hertz' mißt, und daß 1 kHz tausend Schwingungen in der Sekunde bedeutet. Die ‚Energie-Quanten' der Welle 440 kHz sind also doppelt so groß wie die der Welle 220 kHz; aber jedes Energie-Quant für sich bildet eine unteilbare Einheit — ein Elektron können wir auch nicht in der Mitte durchschneiden.

Ein englischer Zoll mißt 2,56 Zentimeter; wenn ich hundert Zoll von einem Anzug-Stoff habe, so besitze ich zweihundertsechsundfünfzig Zentimeter. Besitze ich zweihundert Zoll von dem Stoff,

genug, daß sie überhaupt außerhalb atomkleiner Dimensionen noch eine Rolle spielen.

Der Rest ist leicht zu erraten: Auch Licht ist eine elektromagnetische Schwingung — auch Licht wird in Schöpflöffeln dargeboten. Es muß Lichtquanten geben!

Das ist eine ganz neue Erkenntnis in unserer Jagd nach der Herkunft des Lichts, die uns Planck vermittelt hat; und von hier aus stoßen wir endlich auf den richtigen Mann: Niels Bohr aus Kopenhagen konnte die Entstehung des Lichts erklären. Wir wollen zusehen, wie er es macht.

Die Wasserstoff-G. m. b. H.

Eine Begebenheit

Mitwirkende: Niels Bohr
Ein Elektron
Ein Proton
Energie
Licht
Ein skeptischer Physiker

Ein Elektron flog mutterseelenallein in der Weltgeschichte umher und suchte Anschluß. Weit, weit in der Ferne glänzte, wie ein Leuchtturm in der Nacht, ein verwitwetes Proton Die beiden schienen füreinander geschaffen, und das Ende war abzusehen. Zwei einsame Wanderer weniger — eine Elektron-Proton-Ehe mehr. Der Physiker meinte zwar, ein neues Wasserstoff-Atom zu erblicken, weil in einer schön geschwungenen Kreisbahn um den Kern das heimgefundene Elektron spazierte. Er hatte recht, von seinem Standpunkt aus, aber er dachte physikalisch und nicht poetisch.

Hier griff Bohr ein. Wir erinnern uns noch, wie Sir Ernest Rutherford das Wasserstoff-Atom aufgebaut hatte: Ein schweres Proton in der Mitte, das Elektron in raschem Kreislauf außen. Sir Ernest hatte nur darauf geachtet, daß in seinem Modell positive

geht etwas weit. Vielleicht kommt das daher, daß wir so gar keine Anschauungsmöglichkeit für Energie haben. Wir können uns in Wahrheit gewiß kein Atom oder Elektron denken. Aber wenn es dazu kommt, so haben wir — *seien wir ehrlich!* — doch immer die ganz naive Idee einer winzigen Kugel; irgendwie, furchtbar klein, aber doch vielleicht sichtbar, denkbar wenigstens.

Energie können wir uns überhaupt nicht vorstellen. Wie soll sie aussehen — die Wärme, die Schwere —, was soll man damit beginnen? Wir sind *hier einmal ausnahmsweise auch in unseren* Vorstellungen und Bildern ehrlich genug, einfach zu verzichten. Es käme doch nichts heraus. Und gar Energiequanten — Energieatome! Da ist es gänzlich aus. Es bleibt nur das Vertrauen zur Theorie, zum Experiment und die Flucht in die Mathematik, *die mit ein paar Symbolen, ein paar Zeichen, einer Gleichung* $E = h \cdot \nu$ ein Energiequant darstellt — kurz, faßlich, präzise. Für gewöhnlich merken wir nichts von solchen verrückten Energiezuständen. Und wie bei den Atomen liegt der Fehler der Natur darin, daß sie die Quanten viel zu klein gemacht hat.

Eine Nähnadel erscheint uns spitz, eine Tischfläche glatt und eben; unter dem Mikroskop erweist sich die eine als ungehobelter, schartiger Baumstamm, die andere als eine Art Alpenlandschaft. Lebewesen, die Atome *sehen* könnten, brauchten keine langen Spekulationen, um zum Atombegriff zu gelangen. Wesen, die *Energiequanten* fühlen könnten, hätten einen unmittelbaren Eindruck von ihnen und wären nicht auf Plancks Gedankenblitz angewiesen. Es gibt solche Wesen — Elektronen! Aber *von ihnen später.*

Normale Rundfunkwellen haben Schwingungszahlen bis zu 1500 kHz = 1 500 000 Schwingungen in der Sekunde. Tausend Billionen Billionen ihrer Quanten in der Sekunde ergeben erst ein Watt. Fünfundzwanzigmal soviel Energie verspeist eine kleine Glühlampe. Es läßt sich denken, daß wir von der Einzelwirkung solcher ‚Größen' wie der Quanten nicht viel merken. Wunderlich

genug, daß sie überhaupt außerhalb atomkleiner Dimensionen noch eine Rolle spielen.

Der Rest ist leicht zu erraten: Auch Licht ist eine elektromagnetische Schwingung — auch Licht wird in Schöpflöffeln dargeboten. Es muß Lichtquanten geben!

Das ist eine ganz neue Erkenntnis in unserer Jagd nach der Herkunft des Lichts, die uns Planck vermittelt hat; und von hier aus stoßen wir endlich auf den richtigen Mann: Niels Bohr aus Kopenhagen konnte die Entstehung des Lichts erklären. Wir wollen zusehen, wie er es macht.

Die Wasserstoff-G.m.b.H.

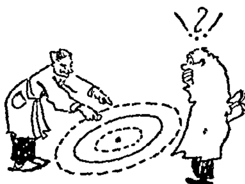
Eine Begebenheit

Mitwirkende. Niels Bohr
Ein Elektron
Ein Proton
Energie
Licht
Ein skeptischer Physiker

Ein Elektron flog mutterseelenallein in der Weltgeschichte umher und suchte Anschluß. Weit, weit in der Ferne glänzte, wie ein Leuchtturm in der Nacht, ein verwitwetes Proton. Die beiden schienen füreinander geschaffen, und das Ende war abzusehen. Zwei einsame Wanderer weniger — eine Elektron-Proton-Ehe mehr. Der Physiker meinte zwar, ein neues Wasserstoff-Atom zu erblicken, weil in einer schön geschwungenen Kreisbahn um den Kern das heimgefundene Elektron spazierte. Er hatte recht, von seinem Standpunkt aus, aber er dachte physikalisch und nicht poetisch.

Hier griff Bohr ein. Wir erinnern uns noch, wie Sir Ernest Rutherford das Wasserstoff-Atom aufgebaut hatte: Ein schweres Proton in der Mitte, das Elektron in raschem Kreislauf außen. Sir Ernest hatte nur darauf geachtet, daß in seinem Modell positive

und negative Elektrizität sich die Waage hielten; er hatte nichts über den Abstand der beiden bestimmt, nur wußte er, daß dieser Abstand ziemlich groß sein müsse. Bohr ging weiter. Er schrieb, so sonderbar es klingt, dem Elektron ganz bestimmte Bahnen vor. „Höre", sagte er, „ich habe eine Anzahl Bahnen für dich ausgesucht. Dein Abstand vom Kern kann 0,5 hundertmillionetel Zentimeter betragen — näher geht es auf keinen Fall. Das wäre die erste Bahn, die kernnächste. Die zweite liegt bei 2 hundertmillionetel Zentimeter, die dritte bei 4,5, die vierte bei 8 usw. Dazwischen gibt es nichts! So kann ein Autofahrer, der in jagender Fahrt die Ringstraßen Wiens durcheilt, nur auf den fünf Ringen fahren, nur dort, wo Straßen für ihn da sind. Über die Hausdächer und Hinterhöfe wäre ein schlechtes Autofahren. Man sieht, Bohr ist der Knigge für Elektronen, und das Elektron fügte sich. Es wählte die zweite Bahn.



Der skeptische Physiker aber fügte sich nicht. „Was soll das? In einem Atom sind weder Hausdächer noch Hinterhöfe. Trotzdem gestatten Sie den Elektronen nur einige wenige, getrennte Bahnkreise in streng vorgeschriebenem Abstand? Wie kommen Sie dazu?"

„Das ist mein erstes Postulat", antwortete Bohr. „Begründen kann ich es nicht, aber es erscheint mir sehr vernünftig."

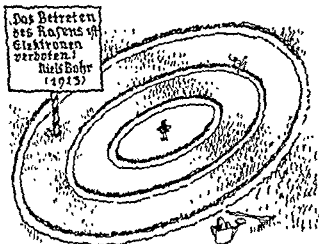
„Nun ja — aber da ist noch eine Frage: Dies kreisende Elektron ist in meiner Sprache ‚eine bewegte elektrische Ladung'. Sie muß elektrische Energie ausstrahlen. Das fordert die Maxwellsche Theorie — das hat die Praxis der elektromagnetischen Wellen erwiesen! Nun?"

„Nein", sagte Bohr fest. „Nein, meine Elektronen strahlen nicht! Solange sie in ihren erlaubten Bahnen umlaufen, sind sie

wie in einem Tunnel für die Umwelt verborgen. Wenn Maxwells Theorie damit nicht einverstanden ist — um so schlimmer für sie!"

Der skeptische Physiker schwieg gekränkt. Dieser Schlag ins Gesicht der klassischen Elektrodynamik hatte ihn tief verletzt. Sollte man Bohr überhaupt noch glauben?

Mittlerweile umkreisten Elektron und Proton einander im vorgeschriebenen Abstand. Die beiden stellten zweifellos etwas dar, eine



Ehe, einen Zweckverband — „ein physikalisches System mit bestimmter Energie!" rief der Physiker dazwischen. Aber selbst *einem* Elektron wird es nach einer gewissen Zeit zu eintönig. „Ich möchte gern in die dritte Bahn", sagte es. „Bitte", antwortete Bohr.

„Und die Energie?" warf der skeptische Physiker ein. „Die Energie, Herr! Gut und schön mit dem Weiterwegwollen, aber das System — und er bleckte höhnisch die Zähne bei diesem Wort — hat eine zu geringe Energie! Bedenken Sie doch, Niels Bohr — es kostet ja Arbeit, das Elektron auf die äußere Bahn, eine Treppe höher gewissermaßen, zurückzutreiben. Die beiden hängen an ihrer elektrischen Anziehung wie an einem Gummifaden aneinander. Ich brauche doch Energie, um dieses Katapult zu spannen!" „Die sollen

und negative Elektrizität sich die Waage hielten; er hatte nichts
den Abstand der beiden bestimmt, nur wußte er, daß dieser Abs
ziemlich groß sein müsse. Bohr ging weiter. Er schrieb, so sonde
es klingt, dem Elektron ganz bestimmte Bahnen vor. „Höre", s
er, „ich habe eine Anzahl Bahnen für dich ausgesucht. Dein
stand vom Kern kann 0,5 hundertmillionstel Zentimeter betr
— näher geht es auf keinen Fall. Das wäre die erste Bahn,
kernnächste. Die zweite liegt bei 2 hundertmillionstel Zentim
die dritte bei 4,5, die vierte bei 8 usw. Dazwischen gibt es nichts!
kann ein Autofahrer, der in jagender Fahrt die Ringstraßen W
durcheilt, nur auf den
Ringen fahren, nur d
wo Straßen für ihn
sind. Über die Hausdä
und Hinterhöfe wäre
schlechtes Autofahren. M
sieht, Bohr ist der Kni
für Elektronen, und das E
tron fügte sich. Es wäh
die zweite Bahn.



Der skeptische Physiker aber fügte sich nicht. „Was soll da
In einem Atom sind weder Hausdächer noch Hinterhöfe. Trotzd
gestatten Sie den Elektronen nur einige wenige, getrennte Ba
kreise in streng vorgeschriebenem Abstand? Wie kommen Sie dazu

„Das ist mein erstes Postulat", antwortete Bohr. „Begründ
kann ich es nicht, aber es erscheint mir sehr vernünftig."

„Nun ja — aber da ist noch eine Frage: Dies kreisende Elekt
ist in meiner Sprache ‚eine bewegte elektrische Ladung'. Sie m
elektrische Energie ausstrahlen. Das fordert die Maxwellsc
Theorie — das hat die Praxis der elektromagnetischen Well
erwiesen! Nun?"

„Nein", sagte Bohr fest. „Nein, meine Elektronen strahl
nicht! Solange sie in ihren erlaubten Bahnen umlaufen, sind

dir nichts, in die Welt fliegt?" „Ja", sagte Bohr ruhig. „Das können Sie!" Und er wartete vergeblich auf den Einwand. Dem Physiker stand der Mund vor Staunen weit offen. Auf diese Frechheit war er nicht gefaßt gewesen. Niels Bohr aber benutzte die gewonnene Zeit und zog einen Bleistift aus der Tasche. „Ich werde Ihnen die Rechnung der Wasserstoff-G. m. b. H. aufmachen.

Sie sehen, die Firma zahlte mir den Energiebetrag $E_3 - E_2 = 1.88 V$ zurück. Sie zahlte freilich in anderer Währung, sie lieferte mir ein Schwingungsquant $h \cdot \nu$, elektromagnetisch, von 3 billiontel Erg dafür. Aber 3 billiontel Erg sind genau 1.88 V wert; d. h. wir haben die Energierechnung $E_3 - E_2 = h \cdot \nu$ und wir wollen nun das Quant zum Tageskurs umrechnen. Wie hoch steht h zur Zeit?" „Sie wissen genau so gut wie ich, daß h unveränderlich ist — es steht wie immer auf 6.55×10^{-27}." „Gut, dann hat also das bezahlte Schwingungsquant die Wellenlänge 0,65 μ. Sie wissen selbst am besten, was eine Schwingung von 0,65 μ bedeutet!" „Licht", sagte der Zweifler verwundert. „Rotes Licht. Die bekannte Wasserstofflinie H_α. Der Steckbrief für Wasserstoff!" „Richtig", antwortete Bohr, „glauben Sie mir nun, daß Sie die Energie sehen können? Die Firma Wasserstoff-G. m. b. H. (E. & P.) pflegt ihre Schulden ständig in Lichtenergie zu bezahlen. Sie gibt *den Kredit in Form* von Licht zurück. Die nach Ihrer Ansicht verlorene Energie geht als Lichtwelle hinaus in den Äther. Ich arbeite gern mit dieser Firma. Es ist eine Wechselstube — verstehen Sie jetzt? Sie nehmen keinerlei Provision, aber sie zahlen mir meine geborgte Energie in Lichtwellen auf Heller und Pfennig zurück" „Die Sache ist, physikalisch betrachtet, in Ordnung", sagte der Physiker, „und diese Energierechnung $E_3 - E_2 = h \times \nu$? Wie kommen Sie darauf?" „Das ist mein zweites Postulat", sagte Bohr und lächelte unbestimmt.

So liegt der Fall. Den Elektronen eines Atoms sind nur bestimmte, wohlgetrennte Bahnen mit bestimmter Energie erlaubt, auf denen sie strahlungslos umlaufen (erstes Bohrsches Postulat).

Sie haben", meinte Bohr versöhnlich. Die Berechtigung des Verlangens überzeugte ihn. „Woher sie kommt — das lassen Sie vorerst mein Sorge sein!" Und er verschaffte dem Elektron ein wenig Energie, hob es eine Treppe höher, auf die dritte Bahn — und es kreiste dort weiter, eine Ewigkeit, wie ihm schien. Für Elektronen gelten andere Zeitbegriffe als für uns, dies sei vorausgeschickt. Eine hundertmilliontel Sekunde schien ihm reichlich genug zu sein, es kannte diese Bahn nunmehr. Und siehe da — mit einem plötzlichen Satz, ohne daß einer recht sagen konnte, wie es geschah, sprang es in die zweite Bahn zurück.

Es war wirklich nicht sehr erfreulich, den skeptischen Physiker zu betrachten. Er gebärdete sich wie rasend. „Was ist das für ein Verhalten?" tobte er. „Unstet, unberechenbar! Was fange ich mit der Energie an? Wo bleibt sie — was soll mit ihr geschehen? Sie verflüchtigt sich, wie? Sie fliegt wohl wie der Pfeil einer Armbrust hinaus in die Welt — diese Energie? Was?" „Sehr richtig. Eben das tut sie. Die überschüssige Energie — es ist dieselbe Menge, merken Sie sich das, die ich vorhin auf Kredit gegeben habe — fliegt wieder in die Welt hinaus. Die beiden, Elektron und Proton, sind ehrliche Schuldner — sie bezahlen bar, in blanken, runden Energiequanten, was ich ihnen vorgeschossen hatte. Denn hier kreisen sie wieder in ihrer alten Bahn, mit ihrem alten Kapital." „Sehr gut. Wirklich vortrefflich", sagte der Physiker mit ironischem Lächeln. „Und wie gedenken Sie diesen Blödsinn zu beweisen? Kann ich es vielleicht sehen, Ihr famoses Energiequant — das dann so, mir nichts

Firma Wasserstoff G.m.b.H. (Elektron & Proton)

Rechnung

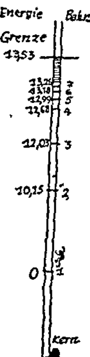
für Herrn Niels Bohr, Kopenhagen

	eVolt
Übertrag: Energiekapital der 2. Bahn (E_2)	10,15
Einnahme von Herrn Niels Bohr	1,88
Energiekapital der 3. Bahn (E_3) Summe	12,03
Ausgabe: 1 Lichtquant $h\nu$ für Herrn Niels Bohr 3 Billiontel Erg =	1,88
Energie der 2. Bahn Rest	10,15

dir nichts, in die Welt fliegt?" „Ja", sagte Bohr ruhig. „Das können Sie!" Und er wartete vergeblich auf den Einwand. Dem Physiker stand der Mund vor Staunen weit offen. Auf diese Frechheit war er nicht gefaßt gewesen. Niels Bohr aber benutzte die gewonnene Zeit und zog einen Bleistift aus der Tasche. „Ich werde Ihnen die Rechnung der Wasserstoff-G. m. b. H. aufmachen.

Sie sehen, die Firma zahlte mir den Energiebetrag $E_3 - E_2 = 1.88$ V zurück. Sie zahlte freilich in anderer Währung, sie lieferte mir ein Schwingungsquant $h \cdot \nu$, elektromagnetisch, von 3 billiontel Erg dafür. Aber 3 billiontel Erg sind genau 1.88 V wert; d. h. wir haben die Energierechnung $E_3 - E_2 = h \cdot \nu$ und wir wollen nun das Quant zum Tageskurs umrechnen. Wie hoch steht h zur Zeit?" „Sie wissen genau so gut wie ich, daß h unveränderlich ist — es steht wie immer auf 6.55×10^{-27}." „Gut, dann hat also das bezahlte Schwingungsquant die Wellenlänge 0.65 μ. Sie wissen selbst am besten, was eine Schwingung von 0,65 μ bedeutet!" „Licht", sagte der Zweifler verwundert. „Rotes Licht. Die bekannte Wasserstofflinie $H\alpha$. Der Steckbrief für Wasserstoff!" „Richtig", antwortete Bohr, „glauben Sie mir nun, daß Sie die Energie sehen können? Die Firma Wasserstoff-G. m. b. H. (E. & P.) pflegt ihre Schulden ständig in Lichtenergie zu bezahlen. Sie gibt den Kredit in Form von Licht zurück. Die nach Ihrer Ansicht verlorene Energie geht als Lichtwelle hinaus in den Äther. Ich arbeite gern mit dieser Firma. Es ist eine Wechselstube — verstehen Sie jetzt? Sie nehmen keinerlei Provision, aber sie zahlen mir meine geborgte Energie in Lichtwellen auf Heller und Pfennig zurück." „Die Sache ist, physikalisch betrachtet, in Ordnung", sagte der Physiker, „und diese Energierechnung $E_3 - E_2 = h \times \nu$? Wie kommen Sie darauf?" „Das ist mein zweites Postulat", sagte Bohr und lächelte unbestimmt.

So liegt der Fall. Den Elektronen eines Atoms sind nur bestimmte, wohlgetrennte Bahnen mit bestimmter Energie erlaubt, auf denen sie strahlungslos umlaufen (erstes Bohrsches Postulat)



Wir sagen heute lieber: Ein Atom kann nur in bestimmten, wohlgetrennten Energiezuständen existieren.

Wenn man sich nur für den Abstand des Elektrons vom Kern interessiert — und der Abstand allein bestimmt die Energie! — so kann man den Kern auf der Erde annehmen, und das Elektron in einer gewissen höheren Ebene. Rutherford hatte nichts darüber bestimmt. Ihm wäre jede Höhe recht gewesen. Bohr aber legte die Ebenen fest, wie Stockwerke *eines* Hauses, und sagte zu dem Elektron: „Such dir aus, was dir paßt — aber du kannst natürlich nur im ersten, zweiten, dritten . . . Stockwerk laufen. Dazwischen gibt es nichts. Er verlangte für das Elektron und gleichzeitig für die Energie des Atoms — Treppenstufen, wo Rutherford *eine beliebige schiefe* Ebene erlaubt hatte.

Unsere Skizze zeigt die Energiewerte der Wasserstoffbahnen; *sie drängen sich immer mehr zusammen*, d. h. der Energieunterschied zwischen je zwei Bahnen wird immer geringer. Man darf die Energie nicht mit dem Durchmesser der Bahn verwechseln, der rasch ansteigt: die zweite Bahn ist viermal so groß wie *die erste*, die hundertste Bahn gar zehntausendmal größer!

Die kernnächste Bahn ist die Grundbahn. Auf ihr läuft das Elektron im Normalzustand; dann hat das Atom die geringste Energie.

Durch Energiezufuhr von außen wird ein Elektron auf eine höhere Bahn gehoben; das Atom geht *in einen Zustand höherer* Energie über, aber nur, wenn die Zusatzenergie groß genug war, den Energie-Unterschied zwischen erster und zweiter Bahn zu überbrücken. Kleinere Energiebeträge sind völlig wertlos. In dieser *höheren Bahn läuft das Elektron eine Weile — etwa eine hundert*millionstel Sekunde; dann *fällt es von selbst wieder auf eine tiefere* Bahn zurück und strahlt die frei werdende Energie *als ein Energie-*

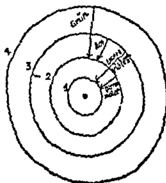
quant, als Lichtwelle aus, deren Wellenlänge eben so abgestimmt ist, daß das Quant die gesamte frei werdende Energie enthält.

Anfangsenergie minus Endenergie = h × Schwingungszahl.

$$E_a - E_e = h \times \nu$$

Dies ist das zweite Bohrsche Postulat, für das Bohr nicht den Schatten einer Begründung angab. Nur der Erfolg rechtfertigte ihn; denn er konnte auf Grund seiner beiden Annahmen die Linien des Wasserstoffs theoretisch berechnen und erhielt genau die experimentellen Werte — auf Bruchteile eines hundertmilliontel Zentimeters, und wir verstehen jetzt, wieso ein Atom ein leuchtendes Linienspektrum gibt und kein Lichtband. Jede einzelne Linie entspricht dem Übergang zwischen zwei Energiestufen.

Ein Beispiel für diese Springprozesse: Wasserstoff strahlt beim Fall von 2 nach 1 eine ultraviolette Linie aus, von 3 nach 1 eine zweite, noch kurzwelligere Linie. Selbstverständlich kann es von der dritten Bahn auch in die zweite springen. Dann wird nur die betreffende Teilenergie frei — wir haben die rote Wasserstofflinie $H\alpha$. Oder es springt aus der vierten Bahn in die zweite — das gibt eine feine grüne Linie $H\beta$, entsprechend der größeren Energie (kürzere Wellenlänge). So gibt es viele Möglichkeiten, nur eine nicht. Niemals kann die $H\beta$ ausgestrahlt werden, wenn nicht vorher das Elektron im vierten Stockwerk war. Dies Verhalten haben Franck-Hertz experimentell nachprüfen können.



Elektronen werden aus einer Glüh-Kathode verdampft, wie bei der Elektronenröhre; durch eine positive Gittervorspannung beschleunigt — und sie treffen nun, rasch einhersausend, auf Quecksilber-Atome. Ein Volt, zwei Volt. Langsam stieg die Gitterspannung an — noch war alles dunkel im Gesichtsfeld des

Spektrographen. Drei Volt, vier Volt. Immer mehr wuchs die Geschwindigkeit der Elektronen, ihre Energie, und näherte sich dem Wert 4,9 Volt, der nach Bohr dem ersten Energiequant entsprechen sollte. Bei 4,9 Volt — keine Sekunde früher — rief der Forscher, der seinen Blick mit fast schmerzhafter Anstrengung in das Dunkel bohrte. „Halt!" Klar und scharf stand die erste hellgrüne Quecksilberlinie im Gesichtsfeld — schmal und präzise, ein leuchtendes Signal. Unvermittelt, ohne jeden dämmernden Übergang war sie erschienen. Die Energiequanten waren sichtbar geworden. Elektronen von der Energie 4,9 Volt heben das Atom in den zweiten Energiezustand. Das Zurückfallen erfolgt automatisch — und die aufgenommene und nun freiwerdende Energie zeigt sich als *Licht*. Der Automat funktionierte. Nur bei Einwurf der richtigen Münze spuckte er im Austausch das richtige Lichtquant aus. Geringere Energie-Einheiten, kleinere Scheidemünzen gab das Atom verächtlich zurück — es konnte nichts damit anfangen. Schritt für Schritt konnten Franck und Hertz die Energiestufen des Atoms so bestimmen; sie lasen sie direkt in Volt auf ihrem Voltmeter ab. Bei 5,4 Volt liegt die dritte Bahn — und genau in diesem Augenblick leuchtete die zweite Quecksilberlinie auf. Die Energiequanten waren a b g e m e s s e n — sie waren so sicher bestimmt, wie eine Sekundenuhr Zeiteinheiten mißt.

In Wahrheit legt man die Versuche meist etwas anders an. Man mißt den Elektronenstrom, der durch die Röhre hindurchgeht. Bis 4,9 Volt steigt er langsam an — die Elektronen werden von den Quecksilberatomen wie Billardkugeln elastisch hin- und hergeworfen, aber behalten ihre Geschwindigkeit. Sie können so über eine kleine Gegenspannung, ein negativ geladenes zweites Gitter hinweglaufen. Bei 4,9 Volt aber fällt der Strom ruckartig auf Null. Die Elektronen mit 4,9 Volt Energie geben ihre gesamte Energie den Quecksilber-Atomen zur Anregung — sie sind dann tot, stehen völlig still und sind außerstande, die Gegenspannung noch zu überwinden. Gleichzeitig erscheint die grüne Linie. Die größte experimentelle Schwierigkeit liegt in dem gleichmäßigen Ansteigen

der Spannung neben gewissen Druck- und Ausblendfragen. Es ist nicht so einfach, wirklich Elektronen von ganz gleicher Geschwindigkeit zu erhalten. Aber Franck und Hertz konnten mit ihrer großen Experimentierkunst diese Schwierigkeiten überwinden.

Soweit Bohrs Erklärung der Lichterzeugung.

Bohr hat seine Vorstellungen später noch erweitert und damit eine wunderbare, von niemand vorhergesehene Erklärung des periodischen Systems der Elemente gegeben. Er brachte Ordnung in den etwas regellosen Schwarm der Rutherfordschen Wirbelelektronen. Er erdachte das Zwiebelatom. Von innen nach außen fortschreitend, ordnen sich die Elektronen in Schalen, die in immer größerem Abstand den Kern umgeben. Die Elektronen kreisen auf ihren bestimmten Bahnen — aber die beiden innersten nur innerhalb der ersten Schale, die sechs weiteren innerhalb der nächsten, die übernächste Schale enthält zehn Elektronen. So geht es weiter. Freilich sind die Schalen nicht streng geschieden; Elektronen der Außenschale tauchen in die innere ein. Das Bild gilt nur in groben Zügen.

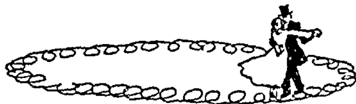


Jede vollgefüllte Schale ist sich selbst genug. Sie ist abgesättigt, saturiert, nach außen hin fast unwirksam — von außen schwer angreifbar. Die Elemente, die die richtige Elektronenanzahl *haben*, die gerade ausgefüllte Schalen ohne Lücken besitzen, werden also, so schließt Bohr, untereinander ähnlich sein — und sie müssen chemisch träge sein, sich mit anderen Elementen wenig oder gar nicht einlassen. Nun, diese Elemente heißen Nr. 2 — Helium, Nr. 8 — Neon, Nr. 18 — Argon. Es sind die Edelgase — in der Tat, chemisch verwandt und absolut träge. Edelgase gehen keine Verbindung mit anderen Stoffen ein. Das Zwiebelatom von Bohr erklärte mit einem Schlag das periodische System der Elemente — die Tatsache, daß Rutherford bei seinem Aufbau der Welt immer wieder auf chemische Verwandtschaften und Ähnlichkeiten stoßen

mußte. Eine Zwiebel, der man die eine Haut ganz abgezogen hat, ist auf den ersten Blick nicht von einer zweimal gehäuteten zu unterscheiden — aber sofort von einer, der die erste Haut nur zur Hälfte fehlt. Und wie Mendelejeff schon aus dem ersten periodischen System neue Elemente voraussagen konnte, so konnte Bohr mit seiner *vertieften Erkenntnis* bessere Fingerzeige geben. Das Element 72 hatten alle Chemiker für einen Verwandten der ‚seltenen Erden' gehalten, einer chemisch eng verwandten Elementengruppe, deren *bekanntester Vertreter* das Cer, den leuchtenden Funken der Feuerzeuge hervorbringt; eine Elementengruppe übrigens, die völlig aus dem alten periodischen System herausfiel. Bohr erklärte nicht nur diese Gruppe — es handelt sich bei ihr um den nachträglich vorgenommenen Ausbau einer tief im Innern gelegenen Elektronenschale; er sah auch, daß das Element 72 nicht dazu gehören *konnte*, daß es *nichts mit dem* Ausbau der inneren Schale zu tun hatte, sondern ein chemischer Verwandter des Zirkon sein mußte. Wenige Monate später fand Georg v. Hevesy das Element 72 in Zirkonmineralien.

Niels Bohrs Vaterstadt ist Kopenhagen — lateinisch Hafnia. Die Wissenschaft nennt das neue Element Hafnium.

Die Spektroskopie, die Lehre vom Licht, hatte in die Vorstellungen vom Atom eine neue, bisher unbekannte Ordnung und Folgerichtigkeit gebracht. Sie ging noch weiter darin — sie führte zu der Forderung, den Elektronen noch eine neue Eigenschaft zu verleihen.



So wie die Erde um die Sonne kreist und sich gleichzeitig um ihre eigene Achse dreht, so wie die Walzer-Tänzer den ganzen Saal umkreisen und sich gleichzeitig um sich selbst drehen — so hat auch das Elektron bei seinem rasenden Kreislauf um den Kern noch eine

ganz persönliche Wirbelbewegung, es kreiselt dabei, es spinnt um seine Achse. Und es ist klar, daß die Energie des Atoms ein wenig anders ausfallen muß, wenn sich das Elektron im gleichen Sinn um sich selber dreht wie um den Kern, und ein wenig anders, wenn die beiden Drehbewegungen sich stören. So werden aus der einen Bahn eigentlich zwei sehr nahe benachbarte, und so erklärt es sich, daß die berühmte gelbe Natriumlinie in Wahrheit — doppelt ist. Es sind, man sieht es schon in einem mäßigen Apparat, zwei Linien eng nebeneinander. Ihre Wellenlängen unterscheiden sich um sechs zehnmillionтel Millimeter voneinander. Nicht viel? Für die Spektroskopie ungeheuer viel. Noch der tausendste Teil, noch der zehntausendste Teil davon ist deutlich nachzuweisen. Und in jüngster Zeit hat sich die Spektroskopie gerade mit diesen Liliput-Unterschieden besonders beschäftigt und hat gefunden, daß auch jede der beiden Natriumlinien nicht einfach ist. Auch sie sind wieder doppelt. (Siehe Tafel 3)

Der Grund ist der Atomkern. Auch er ist nicht still und zufrieden, auch er spinnt, kreiselt um sich selber — und ruft so durch seine Mit- oder Gegendrehung die feine Unterteilung der Spektrallinien hervor. Hyperfeinstruktur — Überfeinstruktur nennt man die Erscheinung, der man mit Apparaten zuleibe rückt, die noch Unterschiede von einigen billiontel Zentimeter in den Wellenlängen aufzeichnen. Sie versprechen neue Auskünfte über den Atomkern.

Es mag nebensächlich und ziemlich belanglos erscheinen, daß Elektron und Kern „Spin" (so nennt man die Drehung um die eigene Achse) besitzen. Es ist in Wahrheit von höchster Wichtigkeit — es ist eine Ureigenschaft der Elementarteilchen, so grundsätzlich wichtig wie ihre Ladung, ihre Masse. Ein jedes dieser Teilchen, ob Elektron, ob Proton ob Neutron — sogar das Lichtquant, das Photon, kreiselt ruhelos um seine eigene Achse. Dirac in England weiß, weshalb. Und wir kommen noch darauf zurück.

Sinnlos und verwirrend scheint das Linienband des Spektrums eines viele Elektronen besitzenden Elements. Wie soll man in dieser

bedrückenden Fülle Ordnung und Sinn finden? Und doch gelang es den Forschern — in knapp zehn Jahren sind die meisten Spektren in ihren Grundsätzen entwirrt worden. Wir kennen die Energiestufen aller wichtigen Atome, von manchen erstaunlich genau. Wir kennen die Atombahnen und die Elektronensprünge — manchmal springen auch zwei Elektronen zugleich! — die die hellen, dominierenden Spektrallinien hervorrufen; und all dies mit Hilfe einer bemerkenswert einfachen Theorie und der verborgenen Gesetzmäßigkeiten in den Wellenlängen, die beinahe an kabbalistische Zahlenbeziehungen grenzen. Wir hörten die Musik des Lichtes wohl, aber wir verstanden sie nicht. Niels Bohr hat sie uns erklärt.

Die Praxis: Der mechanische Glühwurm

Sie fuhren durch die warme Sommernacht von Hamburg nach Berlin. Der große Wagen fraß mit leise klatschendem Geräusch der Reifen auf dem Steinpflaster die Kilometer. Drüben kroch eine feurige Schlange, der D-Zug, langsam durch das Dunkel. Weit voraus die Lichtpunkte einer Stadt oder eines Dorfes, und ein herankommender Wagen, der mit breiten, weißen Lichtern ein Stück der Straße vor sich herschob — und es gleichgültig wieder in die Dunkelheit zurückfallen ließ. „Wie Glühwürmchen", meinte der Mann im Wagen und deutete nach vorn.

„Jawohl, wie Glühwürmchen", gab sein Freund am Steuer höhnisch zurück. „Wie die Glühwürmchen, die gemeinen Biester! Verbieten müßte man sie überhaupt. Aber ich zeige dir meine Glühwürmchen auch noch — *warte nur!*" Der andere sagte gar nichts und starrte erschreckt in die düstere, schweigende Landschaft. War es denkbar, daß sein Freund schon vollkommen verrückt war? Sollte er lieber gleich ins Sanatorium fahren? Aber ein Beleuchtungsingenieur darf eigentlich nicht verrückt werden, beschloß er bei sich. Er hätte es von seinem Freund auch nicht erwartet. „Vielleicht hättest du die Güte ..." Aber der andere fiel ihm bereits

ins Wort. „Es ist wirklich eine Schande, wie die Menschheit lebt. Wir verzehren das Kapital, verzehren das letzte Erdöl, die letzte Tonne Kohle. Es mag bis dahin vielleicht noch lange dauern, und wir denken — nach uns die Sintflut. Aber wenn es nur das wäre! Wir schmeißen noch dazu mit vollen Händen Energie zum Fenster hinaus. Dampfmaschinen — zwanzig Prozent. Benzinmotoren, Dieselanlagen — dreißig Prozent Wirkungsgrad. Und dann schreit bereits alles Hurra über den Fortschritt der Technik, wenn nur noch zwei Drittel nutzlos in die Luft verpufft werden. Und eure herrlichen Lampen — ah, hört mir auf: zwölf Prozent!

Und jetzt kommst du und redest von Glühwürmchen. Ja, die Glühwürmchen haben Nutzeffekte — verstecken müssen wir uns! Nein, man müßte sie totschlagen." Sie fuhren weiter durch die Nacht.

„Die Sache ist die", begann er wieder in ruhigerem Ton. „Wenn ich ein paar Hosenträger oder einen Kragenknopf brauche — dann gehe ich in den Laden, sage hübsch guten Tag, kaufe meinen Kragenknopf, bezahle die fünf Pfennige und gehe. So macht es ein vernünftiger Mensch, nicht wahr? Es soll auch Leute geben, die ein anderes Verfahren anwenden: sie schicken ein paar Lastautos ins Warenhaus und kaufen das gesamte Lager auf. Nun, und schließlich finden sie tatsächlich auch ihren Kragenknopf darin, neben Wollmusselin und Ziehharmonikas. Zweckmäßiges Vorgehen, wie? Es wird in der Technik häufig angewendet . . .



Nimm die Beleuchtungsingenieure. Sie wollen Licht erzeugen — sie brauchen eine Wellenlänge zwischen 0,4 und 0,66 μ. Was machen sie? Sie kaufen das gesamte Spektrum auf — zwischen 100 μ und 0,2 μ von den langwelligsten Wärmestrahlen bis zum kurzen Ultraviolett, das kein Mensch mehr sehen kann. Gewiß, auch das sichtbare Licht steckt dann mit darin. Aber in der Natur ist

bedrückenden Fülle Ordnung und Sinn finden? Und doch gelang es den Forschern — in knapp zehn Jahren sind die meisten Spektren in ihren Grundsätzen entwirrt worden. Wir kennen die Energiestufen aller wichtigen Atome, von manchen erstaunlich genau. Wir kennen die Atombahnen und die Elektronensprünge — manchmal springen auch zwei Elektronen zugleich! — die die hellen, dominierenden Spektrallinien hervorrufen; und all dies mit Hilfe einer bemerkenswert einfachen Theorie und der verborgenen Gesetzmäßigkeiten in den Wellenlängen, die beinahe an kabbalistische Zahlenbeziehungen grenzen. Wir hörten die Musik des Lichtes wohl, aber wir verstanden sie nicht. Niels Bohr hat sie uns erklärt.

Die Praxis: Der mechanische Glühwurm

Sie fuhren durch die warme Sommernacht von Hamburg nach Berlin. Der große Wagen fraß mit leise klatschendem Geräusch der Reifen auf dem Steinpflaster die Kilometer. Drüben kroch eine feurige Schlange, der D-Zug, langsam durch das Dunkel. Weit voraus die Lichtpunkte einer Stadt oder eines Dorfes, und ein herankommender Wagen, der mit breiten, weißen Lichtern ein Stück der Straße vor sich herschob — und es gleichgültig wieder in die Dunkelheit zurückfallen ließ. „Wie Glühwürmchen", meinte der Mann im Wagen und deutete nach vorn.

„Jawohl, wie Glühwürmchen", gab sein Freund am Steuer höhnisch zurück. „Wie die Glühwürmchen, die gemeinen Biester! Verbieten müßte man sie überhaupt. Aber ich zeige dir meine Glühwürmchen auch noch — warte nur!" Der andere sagte gar nichts und starrte erschreckt in die düstere, schweigende Landschaft. War es denkbar, daß sein Freund schon vollkommen verrückt war? Sollte er lieber gleich ins Sanatorium fahren? Aber ein Beleuchtungsingenieur darf eigentlich nicht verrückt werden, beschloß er bei sich. Er hätte es von seinem Freund auch nicht erwartet. „Vielleicht hättest du die Güte . . ." Aber der andere fiel ihm bereits

ins Wort. „Es ist wirklich eine Schande, wie die Menschheit lebt. Wir verzehren das Kapital, verzehren das letzte Erdöl, die letzte Tonne Kohle. Es mag bis dahin vielleicht noch lange dauern, und wir denken — nach uns die Sintflut. Aber wenn es nur das wäre! Wir schmeißen noch dazu mit vollen Händen Energie zum Fenster hinaus. Dampfmaschinen — zwanzig Prozent. Benzinmotoren, Dieselanlagen — dreißig Prozent Wirkungsgrad. Und dann schreit bereits alles Hurra über den Fortschritt der Technik, wenn nur noch zwei Drittel nutzlos in die Luft verpufft werden. Und eure herrlichen Lampen — ah, hört mir auf: zwölf Prozent!

Und jetzt kommst du und redest von Glühwürmchen. Ja, die Glühwürmchen haben Nutzeffekte — verstecken müssen wir uns! Nein, man müßte sie totschlagen." Sie fuhren weiter durch die Nacht.

„Die Sache ist die", begann er wieder in ruhigerem Ton. „Wenn ich ein paar Hosenträger oder einen Kragenknopf brauche — dann gehe ich in den Laden, sage hübsch guten Tag, kaufe meinen Kragenknopf, bezahle die fünf Pfennige und gehe. So macht es ein vernünftiger Mensch, nicht wahr? Es soll auch Leute geben, die ein anderes Verfahren anwenden: sie schicken ein paar Lastautos ins Warenhaus und kaufen das gesamte Lager auf. Nun, und schließlich finden sie tatsächlich auch ihren Kragenknopf darin, neben Wollmusselin und Ziehharmonikas. Zweckmäßiges Vorgehen, wie? Es wird in der Technik häufig angewendet . . .



Nimm die Beleuchtungsingenieure. Sie wollen Licht erzeugen — sie brauchen eine Wellenlänge zwischen 0,4 und 0,66 μ. Was machen sie? Sie kaufen das gesamte Spektrum auf — zwischen 100 μ und 0,2 μ von den langwelligsten Wärmestrahlen bis zum kurzen Ultraviolett, das kein Mensch mehr sehen kann. Gewiß, auch das sichtbare Licht steckt dann mit darin. Aber in der Natur ist

bedrückenden Fülle Ordnung und Sinn finden? Und doch gelang es den Forschern — in knapp zehn Jahren sind die meisten Spektren in ihren Grundsätzen entwirrt worden. Wir kennen die Energiestufen aller wichtigen Atome, von manchen erstaunlich genau. Wir kennen die Atombahnen und die Elektronensprünge — manchmal springen auch zwei Elektronen zugleich! — die die hellen, dominierenden Spektrallinien hervorrufen; und all dies mit Hilfe einer bemerkenswert einfachen Theorie und der verborgenen Gesetzmäßigkeiten in den Wellenlängen, die beinahe an kabbalistische Zahlenbeziehungen grenzen. Wir hörten die Musik des Lichtes wohl, aber wir verstanden sie nicht. Niels Bohr hat sie uns erklärt.

Die Praxis: Der mechanische Glühwurm

Sie fuhren durch die warme Sommernacht von Hamburg nach Berlin. Der große Wagen fraß mit leise klatschendem Geräusch der Reifen auf dem Steinpflaster die Kilometer. Drüben kroch eine feurige Schlange, der D-Zug, langsam durch das Dunkel. Weit voraus die Lichtpunkte einer Stadt oder eines Dorfes, und ein herankommender Wagen, der mit breiten, weißen Lichtern ein Stück der Straße vor sich herschob — und es gleichgültig wieder in die Dunkelheit zurückfallen ließ. „Wie Glühwürmchen", meinte der Mann im Wagen und deutete nach vorn.

„Jawohl, wie Glühwürmchen", gab sein Freund am Steuer höhnisch zurück. „Wie die Glühwürmchen, die gemeinen Biester! Verbieten müßte man sie überhaupt. Aber ich zeige dir meine Glühwürmchen auch noch — warte nur!" Der andere sagte gar nichts und starrte erschreckt in die düstere, schweigende Landschaft. War es denkbar, daß sein Freund schon vollkommen verrückt war? Sollte er lieber gleich ins Sanatorium fahren? Aber ein Beleuchtungsingenieur darf eigentlich nicht verrückt werden, beschloß er bei sich. Er hätte es von seinem Freund auch nicht erwartet. „Vielleicht hättest du die Güte ..." Aber der andere fiel ihm bereits

zwängt sich durch die Lücken hindurch. Die Elektronen reiben sich an den Atomen, stoßen sie an, verstärken ihre Schaukelbewegung, so wie, mit einem etwas rohen Vergleich, der Windstoß die Saiten einer Äolsharfe zum Schwingen und zum Klingen bringt. Und wenn der Strom sich verstärkt, der Wind anwächst, so schaukeln sich die Atome immer mehr und mehr empor, immer wilder werden ihre Schwingungen — bis schließlich durch ihre gegenseitigen Störungen nicht nur der Atomverband als Ganzes schwingt, sondern bis die einzelnen Elektronen im Atom sich zu bewegen beginnen, bis sie ihre Sprünge anfangen — hinauf auf eine höhere Bahn und wieder hinunter —, bis sie endlich Licht ausstrahlen. Mit rotem Licht beginnt es. Das rote Licht ist langwellig und kurzatmig, es repräsentiert eine niedrige Energie. Und wenn sich der Strom verstärkt, wächst die Schwingungs-Energie, dann kommen immer höher und höher frequente Schwingungen dazu — gelbes, weißes, bläuliches Licht zuletzt. So war es in den alten Glühlampen. Du weißt, sie waren luftleer gepumpt, damit die Wärmeableitung vermieden wurde, damit die schaukelnden Draht-Atome ihre Energie nicht durch Stoß an die umgebende Luft abgeben konnten; damit sie gezwungen waren, sich hochzuschaukeln. Ein Glühfaden, in freier Luft ausgespannt, würde niemals so warm werden, sich niemals so hoch erhitzen wie in der luftleeren Glocke.

Aber die luftleeren Birnen haben einen großen Nachteil. Einzelne Atome reißen sich vermöge ihrer Schaukelenergie aus dem Verband los — sie verdampfen aus dem Draht und fliegen quer durch die Lampe zum Glas, wo sie sich als dunkler Belag niederschlagen. So zerstäubt langsam der ganze Glühdraht. Und eines Tages wird er zu dünn, er brennt durch, er schmilzt. Die Lampe ist hin.

Man mußte Wege finden, die Verdampfung zurückzuhalten. Auf hohen Bergen kocht das Wasser früher — wegen des geringeren Luftdrucks. Im Bergwerk und in Drucktöpfen kocht es spät — der hohe auf ihm lastende Druck drängt die Verdampfung zurück. Man

nichts umsonst; man muß für die Wärmewellen genau so zahlen wie für das sichtbare Licht. So kamen unsere erstaunlichen Wirkungsgrade heraus. Zwölf Prozent der hineingesteckten Energie werden wirklich in sichtbares Licht umgesetzt, wenn es hoch kommt. Die Kienfackel war gar nicht so viel schlechter.

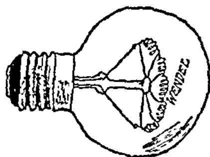
Es geht auch anders, und das eben ist es, was mich so aufregt. Die Glühwürmchen sind haushälterischer veranlagt. Sie erzeugen ihr kaltes grünes Licht auf chemischem Weg — und erreichen ganz unvergleichlich viel bessere Wirkungsgrade. Ein Amerikaner hat es gemessen. Zudem erzeugen sie nicht etwa beliebiges Licht; sie haben sich auch noch grünes, 0,55 μ, ausgesucht — die Wellenlänge, für die das menschliche, wahrscheinlich auch die Augen vieler Tiere besonders empfindlich sind. Aber die Menschheit ist bis vor kurzem noch nicht von dem Vorurteil losgekommen, daß man Licht eben nur durch Feuer haben kann, wie schon die Steinzeitmenschen, die beim flackernden Feuerschein in ihren Höhlen saßen. „Gewiß", sagte der Begleiter im Dunkel. „Atavismen. Sie sind gar nicht so selten in der Technik. Aber wie macht man es besser? Wie macht man überhaupt Licht?" „Das eben ist der springende Punkt — wir haben ja bis vor zwanzig Jahren gar nicht gewußt, wie das Licht entsteht. Erst Bohr hat es uns gezeigt. Er hat den Energiewechsel-Mechanismus des Atoms vor uns auseinandergenommen, und Franck-Hertz haben ihn zum Laufen gebracht.

Wir brennen unsere Lampen mit 220 Volt — aber schon ein paar Volt reichen ja hin, sind mehr als genug Energie. Man muß sie dem Atom, dem Elektron in ihnen nur in faßlicher Form darbieten. Wir heizen einen Glühdraht, d. h. wir bringen seine Atome ins Schaukeln. Die Atome sind ja alle elastisch aufgehängt; sie hängen in ihren elektrischen Feldern wie in einem System von Gummifäden. Dort pendeln sie sachte hin und her, sie haben eine bestimmte Temperatur, eine bestimmte Schwingungs-, Bewegungsenergie, die der Zimmertemperatur entspricht. Wir drehen den Schalter — und nun fließt ein Elektronenschwarm durch den Draht,

paar Bogenlampen schaukelten sich an ihren langen Drähten quer über der Straße. „Die Bogenlampen sind auch ein Irrweg", sagte der Ingenieur. „Auch sie — Hitzeerzeuger. Zwischen den beiden Kohleelektroden fließt der Strom — durch die glühheiße, deshalb elektrisch leitende Luft zwischen ihnen. Und dieser Strom — ein fortwährendes Bombardement von Elektronen und Ionen — prasselt gegen die positive Kohle, wird gebremst und erhitzt die Kohle zu heller Weißglut. 4000 Grad herrschen dort an der Kohle; du weißt, daß man mit solchen ‚elektrischen Öfen' die höchsten Schmelztemperaturen erreicht. Der glühende Krater strahlt das helle Licht aus. Aber hier . . ." Eine Lichtreklame versuchte den Blick auf sich zu ziehen; leuchtendes Rot, klares Blau. Neonröhren, zu Buchstaben gebogen. „Hast du jemals eine solche Röhre angefaßt? Du konnst es ruhig wagen — die Röhren sind kalt, ganz kalt. Und das, siehst du, ist der richtige Weg.

Man muß ein Gas, einen Dampf, der freie Atome hat, zum Leuchten anregen, ohne seine Temperatur wesentlich zu erhöhen. Man muß ihn mit Elektronen beschießen — Elektronen sind leicht! — und so die Elektronen der einzelnen Atome anregen, auf höhere Bahnen heben und hinunterfallen lassen, ohne die Geschwindigkeit der Atome und damit ihre Temperatur zu sehr zu erhöhen. Und es geht!"

In der Ferne, über dem Horizont, schwamm ein seltsamer Lichtschimmer. Längst lag die kleine Stadt hinter den Fahrern. „Da kommen sie — meine Glühwürmchen", sagte der Ingenieur, und sein Begleiter meinte, ein heimliches Triumphieren in seiner Stimme zu hören. Quer über die Straße lag eine Kette leuchtender Monde, ein helles, seltsam gelbes Licht warfen sie auf das Pflaster. ‚Natriumdampf!' „In diesen Lampen ist kein Glühdraht; eine Atmosphäre von Natriumdampf erfüllt sie, ein dichter Schwarm von Natrium-Atomen. Die *Elektronen und Ionen*, die den Stromtransport durch diese Lampe besorgen, stoßen auf die Natrium-Atome, sie heben ihre Elektronen und lassen sie zurückfallen —



mußte den Gasdruck in den Lampen erhöhen, dann konnten die Drähte nicht mehr so leicht zerstieben. Und man mußte gleichzeitig die Wärmeableitung auf ein Mindestmaß beschränken. Das gelingt durch einen einfachen Trick — man ‚wendelt' den Glühdraht. Der Draht wird zu einer feinen Spule aufgewickelt, einer Art Wendeltreppe, einer ‚Wendel'. Nur ein Bruchteil der Drahtlänge führt jetzt Wärme nach außen ab, denn zehn Zentimeter Draht ergeben aufgewickelt eine Wendel von einem Zentimeter Länge. Nach außen, für die Wärmeableitung, haben wir jetzt dicken Draht von einem Zentimeter Länge — man hat die strahlende Oberfläche auf diese Weise auf ein Zehntel erniedrigt. So kann man es sich leisten, die Lampen mit Stickstoff oder Argon zu füllen und die Temperatur bedeutend höher zu treiben, ohne den Draht zu verdampfen. Dies ist das Prinzip der gasgefüllten Glühlampe — und durch die modernen schwer schmelzbaren Legierungen von Wolfram, Osmium, erreicht man Glühtemperaturen von 2500 Grad. Einen recht guten Nutzeffekt haben diese Birnen, mit den alten verglichen. Sie brauchen ein halbes Watt für die Hefnerkerze — Halbwattlampen. Eine Lampe von fünfundzwanzig Watt hat also die Helligkeit von 50 Hefnerkerzen. Die Hefnerkerze ist eine alte, von v. Hefner-Alteneck vorgeschlagene Normallichtquelle; eine kleine Dochtlampe, die mit Amylazetat brennt und bei bestimmter Flammhöhe (vier Zentimeter) eine bestimmte Helligkeit liefert. Aber noch wird die Lampe heiß; immer heißer sogar. Das ist der falsche Weg — der Weg über das Warenhaus.

Man sollte es machen wie der Glühwurm. Der Glühwurm arbeitet chemisch; das kommt für uns nicht in Frage. Aber auch wir vermögen vernünftig zu arbeiten." Das Auto verlangsamte seine Fahrt und durchfuhr die stillen Straßen einer Stadt. Ein

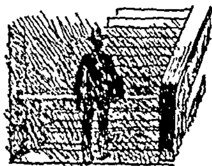
paar Bogenlampen schaukelten sich an ihren langen Drähten quer über der Straße. „Die Bogenlampen sind auch ein Irrweg", sagte der Ingenieur. „Auch sie — Hitzeerzeuger. Zwischen den beiden Kohleelektroden fließt der Strom — durch die glühheiße, deshalb elektrisch leitende Luft zwischen ihnen. Und dieser Strom — ein fortwährendes Bombardement von Elektronen und Jonen — prasselt gegen die positive Kohle, wird gebremst und erhitzt die Kohle zu heller Weißglut. 4000 Grad herrschen dort an der Kohle; du weißt, daß man mit solchen ‚elektrischen Öfen' die höchsten Schmelztemperaturen erreicht. Der glühende Krater strahlt das helle Licht aus. Aber hier . . ." Eine Lichtreklame versuchte den Blick auf sich zu ziehen; leuchtendes Rot, klares Blau. Neonröhren, zu Buchstaben gebogen. „Hast du jemals eine solche Röhre angefaßt? Du kannst es ruhig wagen — die Röhren sind kalt, ganz kalt. Und das, siehst du, ist der richtige Weg.

Man muß ein Gas, einen Dampf, der freie Atome hat, zum Leuchten anregen, ohne seine Temperatur wesentlich zu erhöhen. Man muß ihn mit Elektronen beschießen — Elektronen sind leicht! — und so die Elektronen der einzelnen Atome anregen, auf höhere Bahnen heben und hinunterfallen lassen, ohne die Geschwindigkeit der Atome und damit ihre Temperatur zu sehr zu erhöhen. Und es geht!"

In der Ferne, über dem Horizont, schwamm ein seltsamer Lichtschimmer. Längst lag die kleine Stadt hinter den Fahrern. „Da kommen sie — *meine* Glühwürmchen", sagte der Ingenieur, und sein Begleiter meinte, ein heimliches Triumphieren in seiner Stimme zu hören. Quer über die Straße lag eine Kette leuchtender Monde, ein helles, seltsam gelbes Licht warfen sie auf das Pflaster. ‚Natriumdampf!' „In diesen Lampen ist kein Glühdraht; eine Atmosphäre von Natriumdampf erfüllt sie, ein dichter Schwarm von Natrium-Atomen. Die Elektronen und Jonen, die den Stromtransport durch diese Lampe besorgen, stoßen auf die Natrium-Atome, sie heben ihre Elektronen und lassen sie zurückfallen —

ein klares gelbes Licht aussendend. Es ist die berühmte D-Linie, im Prinzip der gleiche Vorgang wie bei den Neon-Reklameröhren. Hier, auf der Straße Hamburg—Berlin bei Döberitz ist der erste Großversuch im Gange. Kaltes Licht ist das — die Lampen bleiben kühl — keine tausend Grade, keine nutzlos erzeugte, nutzlos vergeudete Wärmeenergie mehr. Hier haben wir Nutzeffekte von dreißig Prozent, und das läßt sich, für technische Begriffe, bereits hören." Das Auto jagte über die hell erleuchtete Straße dem nahen Ziel entgegen. „Wir werden den Glühwurm auch noch überholen", sagte der Mann am Steuer.

Das denkende Licht



In Berlin gibt es einen Stadtbahnhof Innsbrucker Platz. Eine Rolltreppe führt auf den hochgelegenen Bahnsteig. Still und ruhig liegt sie da — bis sich ein Fahrgast nähert. Da plötzlich, wie auf höheren Befehl, beginnt sie zu laufen und fährt den Mann bis auf den Bahnsteig, um alsbald wieder in ihre beschauliche Ruhe zurückzusinken — bis zum nächsten Kunden. Kein geheimer Druckkontakt, kein doppelter Boden! Nur ein winzig feiner roter Lichtstrahl, eine unkörperliche Schranke zieht sich quer über den Weg der Fahrgäste zwischen den beiden Geländern und wird auf ein zehntel Sekunde durch den Fahrgast unterbrochen. Das kurze Aussetzen des Lichtstrahls genügt, die schweren Elektromotoren anspringen zu lassen.

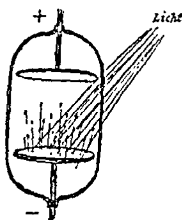
Auf endlosem Band gleiten die Zigaretten vorbei von dem Druckstempel, der den Firmenaufdruck lieferte, zur Packmaschine. Ein feiner Lichtstrahl, an dem sie vorbeigeführt werden, tastet eine nach der anderen ab. Da kommt eine, die durch irgendeinen

Zufall mit der Aufschrift nach unten liegt, anders als die anderen. Das glatte, weiße Papier reflektiert das Licht anders als die goldene Schrift; schon greift ein Hebel an das Band und dreht die Zigarette, die aus der Reihe tanzte, um: jetzt werden alle richtig in der Packung liegen, mit dem Firmenaufdruck nach oben, wie sich's gehört.

Hell erleuchtet und ohne jedes Gitterwerk prangt das Schaufenster des Juweliers. Aber wehe dem, der einen Eingriff wagen wollte: ein unsichtbares Gitterwerk aus infrarotem Licht spannt sich hin- und hergespiegelt vor dem Fenster — jeder Arm, der hinübergreift und das unkörperliche Filigran des Strahls unterbricht, löst eine heulende Alarmvorrichtung aus. Ausstellungsbesucher zählt der denkende Lichtstrahl. Eisenbahnen, die das Warnsignal überfahren haben, hält er an, bald wird er vor gefährlichen Kreuzungen die Autos warnen. Auf manchen Tonfilmstreifen kann man zuweilen links neben dem Bild ein seltsames Zickzackmuster über die Leinwand huschen sehen wie eine unregelmäßig gezahnte Säge. Das ist ‚der Ton' — auf Zelluloid kondensierte Musik. Das Licht des Projektionsapparates wird durch die Zacken mehr oder weniger geschwächt, es fällt auf die ‚Fotozelle', und im selben Takt schwingt, nach vieltausendfacher Verstärkung, die Membrane des Lautsprechers — die Musik erklingt. Es gibt Belichtungsmesser für die Fotografen, die an einem Zeiger die Helligkeit anzeigen, wie bei einem elektrischen Amperemeter. Es ist wirklich ein Amperemeter; der Belichtungsmesser enthält ein elektrisches Auge, eine Fotozelle. Und die Amerikaner schließlich, die das Romantische im Grunde ihrer Seele so lieben, ließen die Weltausstellung von Chikago durch einen Stern eröffnen — durch Licht aus dem Weltraum, das zur Zeit der ersten Weltausstellung von St. Louis den Stern verlassen hatte, vor vierzig Jahren. Es fiel durch den Refraktor auf eine Fotozelle, und dieser winzige Lichtschein schaltete die Beleuchtungsanlage der ganzen künstlichen Stadt mit einem Ruck ein. Die Fotozelle — das denkende Licht — ist erst wenige Jahre alt, für die

Technik zumindest. Die Wissenschaft kennt sie schon seit Jahrzehnten. Sie hat sich in diesen Jahren fest eingebürgert. Was aber ist eine Fotozelle?

Sie ist eine Glühbirne mit negativem Vorzeichen. Man kann durch schnell bewegte Elektronen Licht erzeugen; sich eine Energieart in die andere umwechseln lassen.



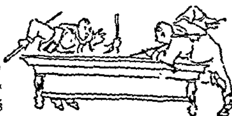
Die umgekehrte Möglichkeit muß auch bestehen — durch Licht bewegte Elektronen zu erzeugen. Und sie besteht. Man läßt Licht — einen Schwarm von Lichtquanten — auf eine Metallschicht im luftleeren Raum, z. B. einer luftleer gepumpten Glasröhre, fallen. Jedes Lichtquant, das auf das Metall fällt, schlägt ein Elektron aus ihm heraus, und durch ein elektrisches Feld, das an der Zelle liegt, werden diese Elektronen fortgeführt. Solange Licht auf die Zelle fällt, fließt dieser Strom von „Fotoelektronen" — Lichtelektronen. Ein Lichtstrom ist in einen Elektronenstrom verwandelt worden. Uns kann die Tatsache heute nicht mehr überraschen; aber sie hat umgekehrt einen schönen Beweis für unsere alte Behauptung $E = h\nu$ geliefert. Denn je größer die Frequenz, je kurzwelliger das Licht — um so größer ist die Geschwindigkeit der Elektronen, ihre Energie. Allerdings, nicht der ganze hineingeschickte Lichtenergiebetrag findet sich in den Elektronen wieder; ein gewisser, immer gleicher Rest geht verloren. Es ist die „Austrittsarbeit" — die Energie, die notwendig ist, um die Elektronen aus dem Inneren des Metalls durch die „elektrische Haut", die Oberflächenspannung ins Freie zu bugsieren. Je kurzwelliger das Licht — desto s c h n e l l e r die Elektronen. Je mehr Licht — desto mehr Elektronen, je stärker der Lichtstrom, desto stärker der elektrische Fotostrom. Rechnungsmäßig ist alles in Ordnung. Jedes Lichtquant befreit ein Elektron — so wie ein Elektron bei einem

Sprung jeweils ein Lichtquant erzeugt. Das ist die Fotozelle, das elektrische Auge. Man benutzt heutzutage meist Kalium- oder Caesium-Zellen, die für rotes Licht oder auch für Wärmestrahlen besonders empfindlich sind. Und in ihnen setzt sich jede Lichtschwankung, jede Helligkeitsänderung wie bei Tonfilm und Zigarette, jedes Unterbrechen des Lichtwegs wie bei der Fahrtreppe in einen gleichwertigen Stromstoß um, den Fotostrom, der durch Relais oder Verstärkerröhren zu technisch brauchbarer Stärke hochgezüchtet wird.

Die Fotozelle ist ein klares Beispiel für die Behauptung, die wir die ganze Zeit mitgeschleppt haben — die Lichtquantenhypothese. Das Licht, so will es uns scheinen, besteht wirklich, wie Newton meinte, aus kleinsten Teilchen, aus Lichtatomen, Photonen, Lichtquanten. Wir haben aber, für die Skeptiker, die grundsätzlich keiner Theorie glauben, noch einen unmittelbaren Beweis in der Reserve, den Comptoneffekt.

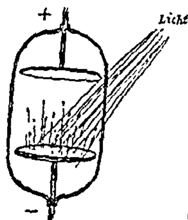
Man kann, A. H. Compton hat das zum erstenmal gemacht, freie Elektronen mit Licht beschießen. Ein freies Elektron hat bei einem Zusammenprall mit einem Lichtquant keine höhere Bahn zur Verfügung, auf die es steigen könnte; es muß alleine sehen, wie es mit dem Stoß und dem Energiezuwachs fertig wird. Wir schießen also ein Lichtquant — wir nehmen Röntgenlicht, damit die Energie groß genug ist — gegen ein freies Elektron, das sich, mit der Lichtgeschwindigkeit des Quants verglichen, nur sehr langsam bewegt.

Der Vorgang verläuft auch in der Praxis wie auf dem grünen Tisch; auf dem grünen Billardtisch nämlich. Eine stoßende Billardkugel gibt der anderen ruhenden etwas Energie ab, beide Kugeln werden zur Seite geworfen. Wir haben also folgendes zu erwarten: Elektron und Lichtquant werden bei dem Stoß



Technik zumindest. Die Wissenschaft kennt sie schon seit Jahrzehnten. Sie hat sich in diesen Jahren fest eingebürgert. Was aber ist eine Fotozelle?

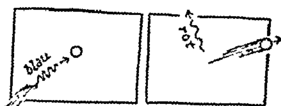
Sie ist eine Glühbirne mit negativem Vorzeichen. Man kann durch schnell bewegte Elektronen Licht erzeugen; sich eine Energieart in die andere umwechseln lassen.



Die umgekehrte Möglichkeit muß auch bestehen — durch Licht bewegte Elektronen zu erzeugen. Und sie besteht. Man läßt Licht — einen Schwarm von Lichtquanten — auf eine Metallschicht im luftleeren Raum, z. B. einer luftleer gepumpten Glasröhre, fallen. Jedes Lichtquant, das auf das Metall fällt, schlägt ein Elektron aus ihm heraus, und durch ein elektrisches Feld, das an der Zelle liegt, werden diese Elektronen fortgeführt. Solange Licht auf die Zelle fällt, fließt dieser Strom von ‚Fotoelektronen' — Lichtelektronen. Ein Lichtstrom ist in einen Elektronenstrom verwandelt worden. Uns kann die Tatsache heute nicht mehr überraschen; aber sie hat umgekehrt einen schönen Beweis für unsere alte Behauptung E = hr geliefert. Denn je größer die Frequenz, je kurzwelliger das Licht — um so größer ist die Geschwindigkeit der Elektronen, ihre Energie. Allerdings, nicht der ganze hineingeschickte Lichtenergiebetrag findet sich in den Elektronen wieder; ein gewisser, immer gleicher Rest geht verloren. Es ist die ‚Austrittsarbeit' — die Energie, die notwendig ist, um die Elektronen aus dem Inneren des Metalls durch die ‚elektrische Haut', die Oberflächenspannung ins Freie zu bugsieren. Je kurzwelliger das Licht — desto schneller die Elektronen. Je mehr Licht — desto mehr Elektronen, je stärker der Lichtstrom, desto stärker der elektrische Fotostrom. Rechnungsmäßig ist alles in Ordnung. Jedes Lichtquant befreit ein Elektron — so wie ein Elektron bei einem

aus ihrer Bahn geworfen. Die neuen Richtungen müssen sich nach den Gesetzen der elastischen Stöße berechnen lassen. Impuls und Energie bleiben erhalten, aber ein Teil der Lichtenergie ist benutzt worden, um dem Elektron etwas Geschwindigkeit zuzuführen. Das Röntgenlicht also verliert Energie, das Quant ist ein wenig röter, etwas weiter nach längeren Wellenlängen verschoben als vorher.

Genau das tritt ein. Man strahlt blaues Licht ein und erhält rotes Licht heraus! Wir haben den unglaublichen Fall, daß ein Lichtquant seine Farbe wechseln kann wie ein Chamäleon. Der Betrag ist freilich nicht sehr groß, aber mit Leichtigkeit nachweisbar. Der Wellentheorie wäre diese Erscheinung ein neues Rätsel. Die Lichtquantenhypothese erklärt sie mit spielender Leichtigkeit; ja, gäbe es noch keine Quantentheorie, man müßte sie für den Comptoneffekt neu erfinden. Wir sehen — das Licht ist ein Doppelwesen, es zeigt zwei Gesichter, eine janushafte Natur.

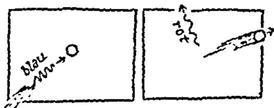


Denn wenn wir auch von Lichtquanten sprechen müssen, um die Erzeugung und Vernichtung des Lichts zu erklären — andere Eigenschaften des Lichtes, wie die Beugungserscheinungen, die Interferenz, der „Helle Schatten", lassen sich nur mit der Wellenannahme verstehen.

Voltaire wurde getauft. Sein ganzes Leben hindurch war er überzeugter, zynisch-geistreicher Atheist. Auf dem Sterbebette aber ließ der große Freigeist plötzlich wieder einen Priester holen. Das Licht wird als Quant geboren, benimmt sich sein ganzes Leben hindurch wellenmäßig — aber es stirbt wieder als Quant. Das Licht gleicht Voltaire.

aus ihrer Bahn geworfen. Die neuen Richtungen müssen sich nach den Gesetzen der elastischen Stöße berechnen lassen. Impuls und Energie bleiben erhalten, aber ein Teil der Lichtenergie ist benutzt worden, um dem Elektron etwas Geschwindigkeit zuzuführen. Das Röntgenlicht also verliert Energie, das Quant ist ein wenig röter, etwas weiter nach längeren Wellenlängen verschoben als vorher.

Genau das trifft ein. Man strahlt blaues Licht ein und erhält rotes Licht heraus! Wir haben den unglaublichen Fall, daß ein Lichtquant seine Farbe wechseln kann wie ein Chamäleon. Der Betrag ist freilich nicht sehr groß, aber mit Leichtigkeit nachweisbar. Der Wellentheorie wäre diese Erscheinung ein neues Rätsel. Die Lichtquantenhypothese erklärt sie mit spielender Leichtigkeit; ja, gäbe es noch keine Quantentheorie, man müßte sie für den Comptoneffekt neu erfinden. Wir sehen — das Licht ist ein Doppelwesen, es zeigt zwei Gesichter, eine janushafte Natur. Denn wenn wir auch von Lichtquanten sprechen müssen, um die Erzeugung und Vernichtung des Lichts zu erklären — andere Eigenschaften des Lichtes, wie die Beugungserscheinungen, die Interferenz, der „Helle Schatten", lassen sich nur mit der Wellenannahme verstehen.



Voltaire wurde getauft. Sein ganzes Leben hindurch war er überzeugter, zynisch-geistreicher Atheist. Auf dem Sterbebette aber ließ der große Freigeist plötzlich wieder einen Priester holen. Das Licht wird als Quant geboren, benimmt sich sein ganzes Leben hindurch wellenmäßig — aber es stirbt wieder als Quant. Das Licht gleicht Voltaire.

Dies also ist das Geheimnis, die fehlende erste Seite aus der Geschichte vom Licht. Man muß zugeben — die Sache sieht nicht sehr hoffnungsvoll aus. Bohr hat uns gezeigt, wie die Lichterzeugung und -vernichtung vor sich geht; aber er hat sie nicht eigentlich erklärt. Bohr hat ein halbklassisches Verfahren angewandt, mit allen seinen begrifflichen Unzuträglichkeiten; freilich, geleitet von einem ans Wunderbare grenzenden physikalischen Instinkt, von einer intuitiven Sicherheit, die um so erstaunlicher wirkt, weil sie sich in offenbaren Gegensatz zu denselben klassischen Gesetzen stellt, die auf der andern Seite als richtig anerkannt werden. Gerade diese Mischung erfordert ein unglaubliches Feingefühl für den physikalischen Gehalt des Problems.

Eine Erzählung von einem der großen Mathematiker des letzten Jahrhunderts — ich glaube, es war Gauß — hat mir immer besonders gefallen, weil sie kennzeichnend ist für die Mitwirkung schöpferischer Intuition, für das gefühlsmäßige Element auch in den scheinbar so verstandesmäßigen und folgerichtigen Wissenschaften Mathematik und Physik. Er hätte einen wunderbaren Satz der Mathematik entdeckt, schrieb der Forscher einem Freund — nur der *Beweis* wäre ihm noch nicht ganz klar. Aber daran, daß sein Satz richtig war, zweifelte Gauß nicht! So ähnlich liegt der Fall in Bohrs Vorstellung von der Lichtemission. Bohr hatte das Wesen der Lichterzeugung richtig genug, erstaunlich richtig erkannt; die verschiedenen Energiestufen der Atome; die Festlegung der ausgesandten Lichtfrequenz durch die Quantenbedingung $E = h\nu$. Aber sein ‚Beweis' — um an das Mathematikerbeispiel zu erinnern — war nicht recht schlüssig; Bohr deutete seine richtigen Erkenntnisse falsch, zu anschaulich, wie wir heute wissen.

Dies also ist das Geheimnis, die fehlende erste Seite aus der Geschichte vom Licht. Man muß zugeben — die Sache sieht nicht sehr hoffnungsvoll aus. Bohr hat uns gezeigt, wie die Lichterzeugung und -vernichtung vor sich geht; aber er hat sie nicht *eigentlich* erklärt. Bohr hat ein halbklassisches Verfahren angewandt, mit allen seinen begrifflichen Unzuträglichkeiten; freilich, geleitet von einem ans Wunderbare grenzenden physikalischen Instinkt, von einer intuitiven Sicherheit, die um so erstaunlicher wirkt, weil sie sich in offenbaren Gegensatz zu denselben klassischen Gesetzen stellt, die auf der andern Seite als richtig anerkannt werden. Gerade diese Mischung erfordert ein unglaubliches Feingefühl für den physikalischen Gehalt des Problems.

Eine Erzählung von einem der großen Mathematiker des letzten Jahrhunderts — ich glaube, es war Gauß — hat mir immer besonders gefallen, weil sie kennzeichnend ist für die Mitwirkung schöpferischer Intuition, für das gefühlsmäßige Element auch in den scheinbar so verstandesmäßigen und folgerichtigen Wissenschaften Mathematik und Physik. Er hätte einen wunderbaren Satz der Mathematik entdeckt, schrieb der Forscher einem Freund — nur der Beweis wäre ihm noch nicht ganz klar. Aber daran, daß sein Satz richtig war, zweifelte Gauß nicht! So ähnlich liegt der Fall in Bohrs Vorstellung von der Lichtemission. Bohr hatte das Wesen der Lichterzeugung richtig genug, erstaunlich richtig erkannt; die verschiedenen Energiestufen der Atome; die Festlegung der ausgesandten Lichtfrequenz durch die Quantenbedingung $E = h\nu$. Aber sein ‚Beweis' — *um an das Mathematikerbeispiel zu erinnern* — war nicht recht schlüssig; Bohr deutete seine richtigen Erkenntnisse falsch, zu anschaulich, wie wir heute wissen.

sprunghaft. Wir sagen — ein Mensch ist 1,96 Meter groß. Was will das heißen — genau genommen doch nur, daß seine Größe zwischen 1,95 und 1,97 Meter liegt. Wir begnügen uns damit, die Genauigkeit auf ein Zentimeter festzulegen — aber wenn wir sie auf ein Millimeter oder ein μ angeben wollten, es bliebe ein einzelner Wert. Ein Läufer durchrast die hundert Meter in 10,4 Sekunden. Es ist derselbe Fall. Die Zehntelsekunde reicht uns aus; auch Hundertstel und Tausendstel ließen sich noch messen, wenn auch meist darauf verzichtet wird. Unsere Währung ist in Mark und Pfennige eingeteilt — weiter geht es nicht. Wir rechnen nach Tonnen und Zentnern, nach Gramm, wenn wir genau sein wollen, die Physiker auch nach Milligramm; einmal kommt immer eine Grenze. Zwanzig Ampere und 20000 Volt haben Starkstromleitungen, oder wir rechnen mit Zehntelvolt und Milliampere. Aber unsere praktische Welt ist immer sprunghaft, quantenmäßig, es stört uns nicht. Warum bereiten uns die Bohrschen Bahnen ein gewisses Unbehagen?

Es ist klar — bei allen Beispielen haben wir selbst die Grenze gezogen. Es lohnt sich nicht, beim Geld unter einen Pfennig herabzugehen; sonst könnten wir ja ein Zehntelpfennigstück ausprägen. Eine genügend genaue Zeitmessung würde statt der zehntel noch eine tausendstel oder millionstel Sekunde angeben können. Wir verzichten darauf, weil wir das nicht mehr brauchen. Immer aber tragen wir die Gewißheit einer freiwilligen Beschränkung. Bei Bohr ist das Sprunghafte nicht mehr von uns in die Natur hineingetragen — er ist von Natur aus da. Hier liegt der Unterschied, und hier beginnt das gedankliche Unbehagen. Eine Grenze der Natur ist erreicht. Wir stoßen auf den Begriff der Zahl.

Wir zählen — 1, 2, 3 . . . und hierin liegt der Begriff des Sprunghaften verborgen. Von 1 nach 2 ist ein völlig willkürlicher, abgehackter, zunächst unüberbrückbarer Gegensatz. Die natürlichen Zahlen sind unverbundene, im Raum schwebende Punkte. Und

Ort kommen, den die Schildkröte gerade verlassen hat — und niemals kann er sie einholen. Es ist klar, wie es klarer nicht ausgedrückt werden kann: mit abgemessenen Strecken, mit Zahlenangaben ist der Raum nicht auszuschöpfen. Griechenland unternahm nichts, um diesen Widerspruch zu lösen. Man sagt, die Griechen hätten ein statisches, wie ein dynamisches Denken. Vielleicht ist es so. Auf alle Fälle mußten bald zwei Jahrtausende ins Land gehen — und es mußte eine neue Denkform geschaffen werden, ehe dieser Widerspruch sich löste.

Es war die neue mathematische Sprache — die Differentialrechnung, die Newton und Leibniz erfinden mußten, um das Problem der Bewegung in Raum und Zeit zu fassen. Ein mathematisches Denkverfahren, das im Grunde mit einem kühnen Sprung über die gefährliche Lücke, über die Grenze zwischen Punkt und Nichts hinwegsetzt. Ein Denkverfahren, das die Unendlichkeit bändigt und das unendlich Kleine wie eine normale Größe behandelt. Es leugnet die Gefahr — und überwindet sie auf diese Weise. Seit Newton werden die Naturgesetze als Differentialgleichungen aufgestellt. Gleichungen, die die Zeit enthalten. Gleichungen, die kontinuierlich sind. Kurz, stetige Funktionen. In zweihundertfünfzigjähriger Überlieferung hat sich die Naturwissenschaft um ein solches Wissen bemüht. Eine Differentialgleichung enthält den Begriff der Veränderung. Wenn ich den Zustand von Erde und Sonne am Montag kenne, ist es nach einer solchen Gleichung möglich, ihn auch für Dienstag und Mittwoch, und zwar für jeden beliebigen Zeitpunkt, zu berechnen. Das Musterbeispiel der Leistungsfähigkeit bietet immer noch die Astronomie, die neue Planeten aus den Bahnabweichungen der alten berechnet, obwohl die Differentialgleichung in diesem Fall nicht einmal mehr genau zu lösen ist. Aber die Genauigkeit der Näherungslösung reicht aus.

Es war nicht mehr als folgerichtig, daß sich vom neunzehnten Jahrhundert an der Feldbegriff immer mehr und immer

Ort kommen, den die Schildkröte gerade verlassen hat — und niemals kann er sie einholen. Es ist klar, wie es klarer nicht ausgedrückt werden kann: mit abgemessenen Strecken, mit Zahlenangaben ist der Raum nicht auszuschöpfen. Griechenland unternahm nichts, um diesen Widerspruch zu lösen. Man sagt, die Griechen hätten ein statisches, wir ein dynamisches Denken. Vielleicht ist es so. Auf alle Fälle mußten bald zwei Jahrtausende ins Land gehen — und es mußte eine neue Denkform geschaffen werden, ehe dieser Widerspruch sich löste.

Es war die neue mathematische Sprache — die Differentialrechnung, die Newton und Leibniz erfinden mußten, um das Problem der Bewegung in Raum und Zeit zu fassen. Ein mathematisches Denkverfahren, das im Grunde mit einem kühnen Sprung über die gefährliche Lücke, über die Grenze zwischen Punkt und Nichts hinwegsetzt. Ein Denkverfahren, das die Unendlichkeit bändigt und das unendlich Kleine wie eine normale Größe behandelt. Es leugnet die Gefahr — und überwindet sie auf diese Weise. Seit Newton werden die Naturgesetze als Differentialgleichungen aufgestellt. Gleichungen, die die Zeit enthalten. Gleichungen, die kontinuierlich sind. Kurz, stetige Funktionen. In zweihundertfünfzigjähriger Überlieferung hat sich die Naturwissenschaft um ein solches Wissen bemüht. Eine Differentialgleichung enthält den Begriff der Veränderung. Wenn ich den Zustand von Erde und Sonne am Montag kenne, ist es nach einer solchen Gleichung möglich, ihn auch für Dienstag und Mittwoch, und zwar für jeden beliebigen Zeitpunkt, zu berechnen. Das Musterbeispiel der Leistungsfähigkeit bietet immer noch die Astronomie, die neue Planeten aus den Bahnabweichungen der alten berechnet, obwohl die Differentialgleichung in diesem Fall nicht einmal mehr genau zu lösen ist. Aber die Genauigkeit der Näherungslösung reicht aus.

Es war nicht mehr als folgerichtig, daß sich vom neunzehnten Jahrhundert an der Feldbegriff immer mehr und immer

ausschließlicher durchsetzte, und daß z. B. die stetige Huygensche Wellentheorie des Lichts Newtons Korpuskulartheorie verdrängte. Erst der Gedanke eines elektrischen Feldes beispielsweise, das den ganzen Raum lückenlos erfüllt, nur einen Zustand des Raumes bedeutet, wird dem Wesen der Differentialgleichung völlig gerecht. Das Kontinuum — es ist damit mathematisch erfaßt und gebändigt. Und wenn auch die Denkschwierigkeit nicht beseitigt ist, von der anfangs gesprochen wurde, wenn auch noch immer der Raum mit einem Koordinatensystem nicht auszuschöpfen ist, wenn die Zahl versagt, so erscheint doch nunmehr diese Schwierigkeit nicht mehr so wichtig. Die Zahl ist nicht naturgemäß — kraß gesagt. Die Natur ist kontinuierlich, so erscheint es. Ihr passendes mathematisches Kleid ist die fließende Differentialgleichung — Newton gab ihr den wunderbaren Namen: Fluxionsrechnung! — das starre Zahlengerüst ist nur eine Zwangsjacke, vom primitiven Menschengeist geschaffen.

Aber in der letzten Zeit begann von der anderen, von der Zahlenseite, ein groß angelegter Gegenangriff. Zu Myriaden rückten sie an; klein, unscheinbar, aber unüberwindlich: die Atome. Ein Atom, das war etwas Letztes, etwas Einmaliges, Unteilbares — eine **Einheit**. Der Atombegriff rettete die Zahl in die Neuzeit hinüber. Und wieder war, stärker als je, der Widerspruch vorhanden. Der Raum blieb kontinuierlich, fließend. Die Materie wurde Stückwerk. Sie erfüllte den Raum nicht mehr — sie überbaute ihn lückenhaft. Daß Rutherford später das Atom zerspaltete, daß Protonen und Elektronen die Rolle der letzten Einheiten übernahmen, ist eine nebensächliche Verschiebung. Wichtig bleibt: Das Atom ist kein Differential — es **bewegt** sich nur nach Differentialgleichungen. Daran hält man fest. Ein fallendes Atom erfüllt Newtons Gleichungen, genau wie Sonne und Erde. Aber Atom und Feldbegriff vertragen sich nicht. Das Atom ist nicht, wie das Feld, **durch eine Differentialgleichung darzustellen**. Die Begriffe decken sich nicht.

Nun, nach Bohrs Annahmen, ging die fressende Krankheit weiter. Und das Überwältigende an Bohrs Bild war eben das, daß auch der Raum, das **Urbild des Kontinuierlichen** in gewissem Sinne **atomaren Aufbau erhielt.** Der Raum ist überall gleich und gleichberechtigt, sagte Kant. Im Innern eines Atoms ist er es nicht mehr. Gewisse, bestimmte Bahnen sind ausgezeichnet, sind möglich — andere sind undenkbar. Als wenn im leeren Nichts ausgefahrene Gleise, gebahnte Wege für die Elektronen vorbereitet wären, in denen sie frei und ungestört laufen — als wenn daneben der Raum zäh und von Gestrüpp bedeckt, unwegsam wäre. War es ein Wunder, daß Bohrs Theorie auf die energischste Ablehnung traf, daß er kaum für ernst gehalten wurde?

Unschärfe

Vielleicht wäre all dies noch eine gute Weile hingegangen. Doch allmählich erwies sich, daß die Bohrsche Theorie nicht ausreichte. Sie erklärte manches mangelhaft, manches gar nicht, einige ihrer Folgerungen waren sogar falsch. Andererseits waren ihre Erfolge groß und unbestreitbar; viel richtige Gedanken mußte sie jedenfalls enthalten. Und wir erinnern uns an einen ähnlichen Fall von unverständlicher Zusatzforderung. Am Beginn der Relativitätstheorie stand der verunglückte Michelsonversuch. Seine Erklärung gelang Lorentz und Fitz-Gerald durch die „unsinnige" Forderung der Lorentzverkürzung. Und siehe da, diese unmögliche Forderung, durch die die Natur mit großer List jeden Bewegungszustand gegen den Äther zu verschleiern wußte, enthielt wohl die Wahrheit. Aber sie wurde erst verständlich unter dem allgemeinen Gesichtspunkt Einsteins, der mit der ‚absoluten' Gleichzeitigkeit aufräumte und sie energisch in das Gebiet des physikalisch Überprüfbaren zurückholte. *Wir werden uns mit dem gleichen Mißtrauen wappnen müssen;* wir fahnden nach unzulässigen Begriffen, die sich trotz aller Sorgfalt noch im Bau der Physik verborgen haben. Wir

Nun, nach Bohrs Annahmen, ging die fressende Krankheit weiter. Und das Überwältigende an Bohrs Bild war eben das, daß auch der Raum, das Urbild des Kontinuierlichen in gewissem Sinne atomaren Aufbau erhielt. Der Raum ist überall gleich und gleichberechtigt, sagte Kant. Im Innern eines Atoms ist er es nicht mehr. Gewisse, bestimmte Bahnen sind ausgezeichnet, sind möglich — andere sind undenkbar. Als wenn im leeren Nichts ausgefahrene Gleise, gebahnte Wege für die Elektronen vorbereitet wären, in denen sie frei und ungestört laufen — als wenn daneben der Raum zäh und von Gestrüpp bedeckt, unwegsam wäre. War es ein Wunder, daß Bohrs Theorie auf die energischste Ablehnung traf, daß er kaum für ernst gehalten wurde?

Unschärfe

Vielleicht wäre all dies noch eine gute Weile hingegangen. Doch allmählich erwies sich, daß die Bohrsche Theorie nicht ausreichte. Sie erklärte manches mangelhaft, manches gar nicht, einige ihrer Folgerungen waren sogar falsch. Andererseits waren ihre Erfolge groß und unbestreitbar; viel richtige Gedanken mußte sie jedenfalls enthalten. Und wir erinnern uns an einen ähnlichen Fall von unverständlicher Zusatzforderung. Am Beginn der Relativitätstheorie stand der verunglückte Michelsonversuch. Seine Erklärung gelang Lorentz und Fitz-Gerald durch die „unsinnige" Forderung der Lorentzverkürzung. Und siehe da, diese unmögliche Forderung, durch die die Natur mit großer List jeden Bewegungszustand gegen den Äther zu verschleiern wußte, enthielt wohl die Wahrheit. Aber sie wurde erst verständlich unter dem allgemeinen Gesichtspunkt Einsteins, der mit der ‚absoluten' Gleichzeitigkeit aufräumte und sie energisch in das Gebiet des physikalisch Überprüfbaren zurückholte. Wir werden uns mit dem gleichen Mißtrauen wappnen müssen; wir fahnden nach unzulässigen Begriffen, die sich trotz aller Sorgfalt noch im Bau der Physik verborgen haben. Wir

größe zeigen. Wir müssen mit kurzwelligem Licht arbeiten. Ultraviolettes ist noch lange nicht ausreichend. Röntgenlicht — da könnte man gerade das Atom als Ganzes sehen. Wir entscheiden uns für Gamma-Strahlen, die ja noch kurzwelliger als Röntgenlicht sind. Das Mikroskop steht fertig, blitzblank geputzt vor uns. (Seine innere Konstruktion freilich ist noch ein Fabrikgeheimnis, aber darum wollen wir uns nicht kümmern.) Wir schauen hindurch und sehen einen Punkt aufblitzen — das Elektron! Dann nichts.

Warum ist es plötzlich aus dem Gesichtsfeld verschwunden — gerade als die Sache anfing, interessant zu werden und wir uns schon auf den Anblick der Bahn gefreut hatten? Compton weiß die Antwort. Das Lichtquant, mit dem wir die Beleuchtung durchführten, das Gamma-Quant, hat beim ersten Auftreffen auf das Elektron die Ordnung entsetzlich gestört. Es schleuderte das Elektron brutal aus seiner Bahn. Wir haben wohl an dem einen Aufleuchten gesehen, wo das Elektron gewesen ist; aber wir können jetzt nicht einmal mehr genau sagen, wie schnell es wohin geflogen ist. **Unsere Beobachtung, unsere Messung hat störend in den Verlauf des Atomgeschehens eingegriffen.**

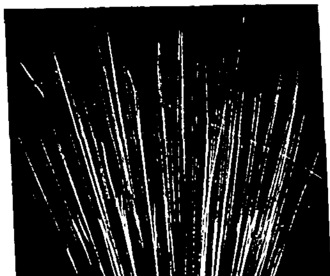
Dies ist die nackte Tatsache: Immer, wie wir uns auch das Experiment ausdenken, immer wird die Messung eine Störung bedeuten. Der Beobachter und das Atom sind durch das Meßinstrument gekoppelt. Und dies Instrument ist nichts bloß Gedachtes — es ist physikalisch wirklich. Die in ihm ablaufenden Vorgänge müssen störend auf das Atom einwirken. Es ist schlechterdings, grundsätzlich, unmöglich, mit Beobachtungen im landläufigen Sinn in Größenordnungen hinabzusteigen, die kleiner sind als das Atom. Zur vollständigen Kenntnis eines Elektrons reicht es ja nicht aus, wenn wir in einem gewissen Augenblick seinen Ort wissen. Wir wollen auch noch seine Geschwindigkeit kennen, denn wir wollen angeben können, wohin es im nächsten Augenblick laufen wird. Aber die Messung lieferte nur den Ort, den Lichtpunkt; die Geschwindigkeit verriet sie uns nicht. Man könnte daran denken,

die Beobachtung mit rücksichtsvollerem, langwelligem Licht durchzuführen. Dann wird das Elektron zwar nicht mehr aus der Bahn geworfen — aber dafür sehen wir es auch nicht mehr scharf. So ist es immer. Zwei Eigenschaften des Elektrons brauchen wir, die zueinander in Beziehung stehen, aber wir können auf keine Weise beide zugleich genau erhalten. Heisenbergs Verdienst ist es, diesen Sachverhalt nicht nur klar erkannt, sondern ihn auch zahlenmäßig gefaßt zu haben. Wir müssen mit einem gewissen Fehler beider Größen rechnen, und das Produkt beider Fehler läßt sich prinzipiell nicht unter ein gewisses Maß herunterdrücken. Den Betrag des unvermeidlichen Fehlers aber gibt die unerbittliche allgegenwärtige Plancksche Konstante h an, das elementare Wirkungsquantum.

h ist klein. In der makroskopischen Welt verschwindet das Problem. Ein Rennwagen überfährt die Zielmarke, ich vermesse ihn dabei auf eintausendstel Millimeter genau, das wird sicher reichen! Nun messe ich die Geschwindigkeit — sie beträgt zum Beispiel 265,577 km/std. Ich könnte meine Uhren verbessern und versuchen, die Geschwindigkeit noch genauer zu messen. Heisenbergs Unschärfebeziehung setzt der Messung erst bei der dreißigsten Stelle hinter dem Komma eine Grenze – bei einem Quintillontel Kilometer. Sie steht den Genauigkeitsansprüchen der Rennfahrer wirklich nicht im Wege. Erst in atomaren Ausmaßen spielt die Unschärfe eine Rolle, und dort wächst sie zur allgewaltigen Herrscherin auf.

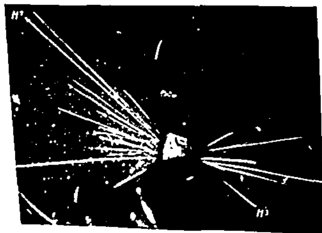
Ein Atom mißt rund einhundertmillionstel Zentimeter im Durchmesser, den Ort eines Elektrons darinnen müßte ich also auf etwa ein Milliardstel Zentimeter genau angeben; nun suche ich die Geschwindigkeit des Elektrons zu messen. Die Heisenberg-Relation lächelt höhnisch und sagt: Tu es nur, aber ein Fehler von 60000 km/sec in deinem Resultat darf dich nicht stören! Nun, das ist keine sehr gute Messung.

Und Heisenberg tut den nächsten Schritt: er leugnet die Wirklichkeit dessen, was grundsätzlich nicht gesehen werden kann. Er leugnet die Berechtigung der zu anschaulichen Vorstellung des



Blackett

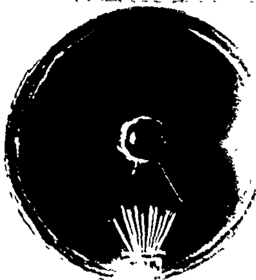
Stickstoffzertrümmerung durch Alpha-Teilchen



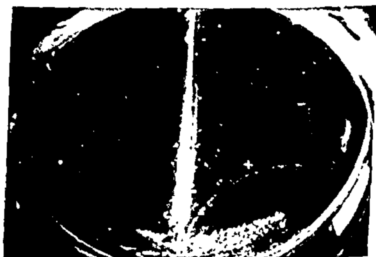
Dee

Zertrümmerung von schwerem Wasserstoff
bei Beschießung mit schwerem Wasserstoff

Atomzertrümmerung


Rasetti

Neutronen


Chadwick

Positron. Auslösung eines Elektronenpaars

Neuerscheinungen

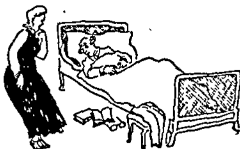
Tafel 8

Atoms. Hier haben wir die unzulässige Denkvoraussetzung, nach der wir suchten. Man hatte Begriffe, die im täglichen Leben ihren klaren Sinn haben, wie Ort und Geschwindigkeit, einfach ins Innere des Atoms übertragen. Man setzte stillschweigend voraus, daß man dort Messungen vornehmen kann. Das war ein Fehler. Sowie es sinnlos war, den Begriff Temperatur auf ein einzelnes Molekül anzuwenden (S. 58), wird es sinnlos, von der Bahn eines Elektrons zu reden. Beobachtbar sind am Atom: Spektrallinien, ihre Intensität und ihr Polarisationszustand. Dies sind drei physikalische Wirklichkeiten. Ich kann mir, zur bequemen Rechnung, eine Modellvorstellung von einem Atom machen, wie ich eine vereinfachte, schematische Trickzeichnung eines Radioapparats anfertige. Das Bohrsche Atommodell war so etwas. Ob dieses Modell *in allen Zügen der Wirklichkeit entspricht, ist eine zweite Frage.* Genauer — es ist gar keine Frage. Wir dürfen so nicht nach der Wirklichkeit fragen. Wirklich sind die Spektrallinien.

Hierauf, und hierauf allein — auf Wellenlänge und Intensität der Spektrallinien gründet Heisenberg seine neue Mechanik, die ‚Matrizenmechanik'. Er ersetzt das Atom durch eine ‚Matrix', eine Art Tabelle, in der die Spektrallinien verzeichnet sind. Begriffe wie ‚Elektronenbahn' sind radikal verschwunden — die neue Theorie ist kalt, abstrakt, sie hat entschlossen auf jede Anschaulichkeit verzichtet. Aber sie wird den beobachteten Versuchsergebnissen überzeugend gerecht und war von ungeahnter Fruchtbarkeit für die ganze Physik.

Kausalität

Von einem sehr berühmten und zerstreuten Göttinger Professor kursiert diese Geschichte: Er hatte Gäste eingeladen, kam aber selbst verspätet und in reichlich unordentlichem Aufzug nach Hause. Seine Frau fing ihn an der Haustür ab und schickte ihn voller Entsetzen zunächst ins Schlafzimmer; er solle sich zumindest erst einen sauberen



Kragen umbinden. Er verschwindet. Eine Viertelstunde vergeht, eine halbe Stunde. Die Frau wird unruhig. Was hat er nun wieder angestellt? Ahnungsvoll eilt sie ins Schlafzimmer — da liegt der Professor im Bett, in friedlichen Schlaf versunken.

Sehen Sie, das nennen wir eine kausale Folge. Der Herr Geheimrat hatte seinen Kragen abgebunden — und ganz gewohnheitsmäßig folgte dem Kragen das Hemd und so weiter, bis er ins Bett kroch und das Licht löschte, wie jeden Abend. Die gleiche Ursache bringt immer dieselbe Folge hervor. Der Professor schlief — ein Opfer des Kausalitätsprinzips.

Ich trete auf den Bremshebel eines Autos: Es bremst. Das ist eine kausale Folge, ein ursächlicher Zusammenhang. Niemals wird das Auto — solange es in Ordnung ist, selbstverständlich — statt gebremst zu werden schneller fahren, wenn ich auf den Bremshebel trete. Ein bestimmter Vorgang verursacht immer die gleiche Folge, wenn die äußeren Umstände gleich sind; nicht heute eine andere als morgen. Habe ich einmal die Erfahrung gemacht, so kann ich für alle Zukunft mit tödlicher Sicherheit prophezeien: Wenn das Auto in Ordnung ist, und ich trete auf den Bremshebel — so wird es gebremst.

In der ganzen Physik geht es um die Aufdeckung solcher Zusammenhänge. Ich nehme einen Stein und lasse ihn fallen. Da ich die Fallgesetze beherrsche, kann ich mit tödlicher Sicherheit vorhersagen: Der Stein wird fallen, und zwar so und so schnell. Fallzeit und Fallgeschwindigkeit lassen sich genau berechnen. Die klassische Physik sagt: Wenn ich den Zustand des Steins zu einer bestimmten Zeit genau kenne, kann ich sein weiteres Benehmen vorherberechnen. Aber wenn ich ein Elektron statt dessen nehme? Wir müssen Heisenberg fragen — denn seine Unschärfebeziehung herrscht über Atome und Elektronen. Aber Heisenberg schüttelt den Kopf. Man

müßte den Zustand des Elektrons genau kennen — Ort und Geschwindigkeit, und das geht nicht, wie wir gesehen haben. Und wenn wir niemals, aus Grundsatz nicht, von dem Elektron die nötige Auskunft erhalten — dann können wir auch nicht sagen, was es im nächsten Augenblick tun wird. Niemand kann das genau sagen. Immer behält das Elektron das letzte entscheidende Stück seines Wissens für sich, immer bleibt es bis zu einem gewissen Grad unberechenbar. Aber wissen wir denn, ob das Elektron selber genau über sich unterrichtet ist? Nach Heisenbergs Denkart ist diese Frage unzulässig. Wenn wir niemals genau wissen können, was ein Elektron tun wird — so *ist* eben überhaupt unbestimmt, was es anfängt. Es kann dies tun; es kann, innerhalb der Grenzen der Unschärferelation, auch etwas anderes tun. Heisenberg sagt: „An dem Satz: ‚Wenn wir die Gegenwart in allen Stücken genau kennen, können wir die Zukunft genau vorausberechnen' ist nicht der Nachsatz, sondern die Voraussetzung falsch. Wir können die Gegenwart prinzipiell nicht genau kennenlernen."

Die Quantenmechaniker haben lange Zeit behauptet, die Kausalität damit erschlagen zu haben. Die Philosophen ihrerseits haben sich gewehrt, und die Behauptungen der Physik für abwegig erklärt. Aber es scheint, daß Physiker und Philosophen bei ihrem erbitterten Streit meistens aneinander vorbeigeredet haben. Kausalität, so scheint es uns, bedeutet eine Form unseres Denkens, die wir nicht aufgeben können, wenn wir nicht überhaupt auf Wissenschaft verzichten wollen. Aber ich glaube nicht, daß die Quantenmechaniker das wirklich tun wollten. Ihr Reich ist die Physik — und die Physik allein. Gelegentliche unbefugte Übergriffe in fremde Gebiete können die Philosophen mit Recht zurückweisen. Zudem behauptet auch die Quantenmechanik nicht, daß nun alles dem blinden Zufall überlassen sei.

Ihre Methode ist statistischer Natur. Nimm an, ich habe eine Anzahl Atome in einem Kasten und mache sie „so gleich wie möglich"; bringe sie also alle in denselben Zustand, so gut es geht. Die



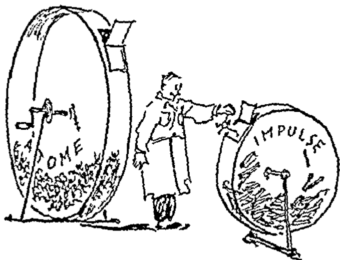
Kragen umbinden. Er verschwindet. Eine Viertelstunde vergeht, eine halbe Stunde. Die Frau wird unruhig. Was hat er nun wieder angestellt? Ahnungsvoll eilt sie ins Schlafzimmer — da liegt der Professor *im Bett, in friedlichen Schlaf versunken.*

Sehen Sie, das nennen wir eine kausale Folge. Der Herr Geheimrat hatte seinen Kragen abgebunden — und ganz gewohnheitsmäßig folgte dem Kragen das Hemd und so weiter, bis er ins Bett kroch und das Licht löschte, wie jeden Abend. Die gleiche Ursache bringt immer dieselbe Folge hervor. Der Professor schlief — ein Opfer des *Kausalitätsprinzips.*

Ich trete auf den Bremshebel *eines Autos:* Es bremst. Das ist *eine kausale Folge,* ein ursächlicher Zusammenhang. Niemals wird das Auto — solange es in Ordnung ist, selbstverständlich — statt gebremst zu werden schneller fahren, wenn ich auf den Bremshebel trete. Ein bestimmter Vorgang *verursacht immer* die gleiche Folge, wenn die äußeren Umstände gleich sind; *nicht heute eine andere als morgen.* Habe ich einmal die Erfahrung *gemacht, so kann ich* für alle Zukunft mit *tödlicher Sicherheit prophezeien:* Wenn das Auto in Ordnung ist, und ich trete auf den Bremshebel — so wird es gebremst.

In der ganzen Physik geht es um die Aufdeckung solcher Zusammenhänge. Ich nehme einen Stein und lasse ihn fallen. Da ich die Fallgesetze beherrsche, kann ich mit tödlicher Sicherheit vorhersagen: Der Stein wird fallen, und zwar so und so schnell. Fallzeit und Fallgeschwindigkeit lassen sich genau berechnen. Die klassische Physik sagt: Wenn ich den Zustand des Steins zu einer bestimmten Zeit genau kenne, kann ich sein weiteres Benehmen vorherberechnen. Aber wenn ich ein Elektron statt dessen nehme? Wir müssen Heisenberg fragen — denn seine Unschärfebeziehung herrscht über Atome und Elektronen. Aber Heisenberg schüttelt den Kopf. Man

Heisenbergs Atom-Lotterie geschieht das fortwährend. Bedenken wir wohl: Der Gewinnplan hängt vom Zustand der Atome ab. Der Zustand der Atome entscheidet, welcher Impulswert am häufigsten gezogen wird — welcher also am häufigsten vorhanden war. Aber der Zustand der Atome ändert sich im Lauf der Zeit — sonst läge überhaupt kein physikalisches Problem vor. Wenn die Atome



immer gleich bleiben — was soll man dann untersuchen? Erst die Veränderung schafft das Leben.

Der Zustand der Atome wird sich langsam verändern, und nun wird eine zweite Ziehung ein anderes Resultat ergeben, nun wird ein anderer Impulswert am häufigsten gezogen werden. Die Quantenmechanik aber erlaubt, aus dem ersten Gewinnplan alle folgenden, die sich im Lauf der Zeit daraus entwickeln können, eindeutig und streng zu berechnen.

Die Methode, deren sie sich dazu bedient, ist die „Matrizenmechanik" von Heisenberg, und in dieser Form offenbart sich nun das Kausalitätsgesetz. Man hat eine Statistik der Atome aufgenommen, die Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Meßwerte

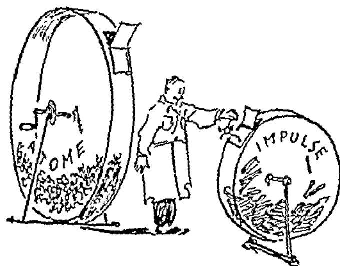
klassische Physik hätte diesen Zusatz „so gut es geht" gestrichen. Sie erblickte, zumindest grundsätzlich, keine Schwierigkeit darin, eine Reihe Atome in ganz genau denselben Zustand zu bringen. Die Quantenmechanik ist viel bescheidener — notgedrungen. Sie muß zugeben, daß sie Zustände, die nur wenig voneinander verschieden sind, wegen der Unschärferelation nicht mehr unterscheiden kann und sie deshalb für gleich ansieht.

Und nun veranstaltet Heisenberg mit den Atomen eine Lotterie. Er nimmt sie eins nach dem anderen aus dem Kasten und unterwirft sie einer Messung, fragt zum Beispiel nach ihrem Impulswert. Man darf nicht erwarten, daß die Messung für jedes Atom denselben Impuls ergibt. Dazu war der Ausgangszustand viel zu unscharf. Nun, Heisenberg hat eine ganze Menge Impulswerte angeschafft — es sind die Gewinne bei dieser Ziehung. Große, kleine und mittlere Impulswerte gibt es, hohe und niedrige Gewinne. Aber Heisenberg weiß nicht, ob die Hundert- oder die Fünfzig-Mark-Gewine in seiner Trommel häufiger sind. Das eben will er durch die Lotterie erfahren.

Das Atom greift in die Gewinntrommel und wählt sich einen Impulswert aus. Aber bedenken wir wohl: Vor der Ziehung weiß es nicht, welchen Wert es zu fassen bekommen wird. Vor der Messung ist das Atom in einem ‚Zustand unbestimmten Impulses'. Erst bei der Messung, wenn es in die Trommel greift, entscheidet es sich für einen bestimmten Impulswert. Atom nach Atom zieht seinen Gewinn: bei Heisenberg gibt es keine Nieten! Und nun vergleicht Heisenberg die gezogenen Gewinne, und er findet: Am häufigsten sind Hundert-Mark-Gewinne, dann kommen vielleicht die zu fünfzig, dann die zu zweihundert usw. Nun weiß er, was er wissen wollte, wie häufig jeder Gewinn, jeder Impulswert in der Trommel vorkam. Er hat den Gewinnplan seiner Lotterie herausgefunden; er kann nun angeben, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, bei der Messung einen bestimmten Impulswert zu erhalten.

Bei Staatslotterien wird der Gewinnplan selten geändert. Bei

Heisenbergs Atom-Lotterie geschieht das fortwährend. Bedenken wir wohl: Der Gewinnplan hängt vom Zustand der Atome ab. Der Zustand der Atome entscheidet, welcher Impulswert am häufigsten gezogen wird — welcher also am häufigsten vorhanden war. Aber der Zustand der Atome ändert sich im Lauf der Zeit — sonst läge überhaupt kein physikalisches Problem vor. Wenn die Atome



immer gleich bleiben — was soll man dann untersuchen? Erst die Veränderung schafft das Leben.

Der Zustand der Atome wird sich langsam verändern, und nun wird eine zweite Ziehung ein anderes Resultat ergeben, nun wird ein anderer Impulswert am häufigsten gezogen werden. Die Quantenmechanik aber erlaubt, aus dem ersten Gewinnplan alle folgenden, die sich im Lauf der Zeit daraus entwickeln können, eindeutig und streng zu berechnen.

Die Methode, deren sie sich dazu bedient, ist die „Matrizenmechanik" von Heisenberg, und in dieser Form offenbart sich nun das Kausalitätsgesetz. Man hat eine Statistik der Atome aufgenommen, die Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Meßwerte

bestimmt. Nun kann man für alle Zukunft und in aller Strenge berechnen, wie sich diese Wahrscheinlichkeit mit der Zeit verändern wird. Nur — ich wäre unvernünftig, wenn ich von der Zukunft mehr verlange als von der Gegenwart. Auch für die Zukunft kann ich nur eine Statistik angeben, die Wahrscheinlichkeit, mit der jeder einzelne Meßwert herauskommen wird. Aber die Quantenmechanik erlaubt, aus der ersten Wahrscheinlichkeit die zweite genau zu berechnen.

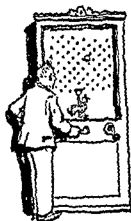
Die Wellen der Materie

Es gibt noch einen zweiten Weg, die Probleme der Atommechanik anzugreifen: die ‚Wellenmechanik'. Sie scheint von Heisenbergs Auffassung himmelweit verschieden zu sein. Aber ihr mathematischer Gehalt ist derselbe, und allein auf Mathematik kommt es heute an. Sie erhielt ihre experimentelle Feuertaufe durch das berühmte Experiment von Davisson und Germer. Wir erinnern uns noch an Herrn von Laue und die schwarzen Punkte auf seinem Diagramm? Wir wissen noch, wie er die Röntgenstrahlen durch einen Kristall schickte und dann in dem System der ‚Interferenzpunkte' ein Bild, ein Symbol des Kristallgitters erhielt und damit bewies, daß die Röntgenstrahlen eine Wellenbewegung sind. Überall, wo Interferenzfiguren auftreten, müssen Wellenberge und -täler sein, die sich verstärken oder aufheben können. Laues Methode war ein Triumph der klassischen Physik und ihrer Vorstellungen. Das geschah im Jahre 1912.

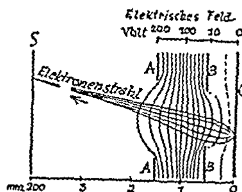
Fünfzehn Jahre später, 1927, wurde mit genau derselben Methode die klassische Physik endgültig hingemordet. Davisson und Germer, zwei Amerikaner, wiederholten Laues Experiment mit — Elektrizität.

Sie schickten einen Elektronenstrahl, das heißt eine Horde schneller Elektronen, die alle in gleicher Richtung und mit gleicher Geschwindigkeit fliegen, quer durch einen Kristall. Was wird

geschehen? Auf Rummelplätzen gab es früher etwas Ähnliches: Eine Kugel fiel durch ein regelmäßiges Gitterwerk von Drahtstiften, wurde bald links, bald rechts abgelenkt und torkelte so zickzackförmig nach unten. Unten suchte man sie mit einem beweglichen Trichter — als Clown mit einem Hut ausgebildet — aufzufangen. Aber weil die Ablenkungen ganz regellos und zufällig erfolgen, mißglückte der Fang meistens, und damit war ein Groschen verloren. Die Kugel fiel regellos, zufällig. Dasselbe wird der klassische Physiker von den Elektronen erwarten — sie müssen beim Durchgang durch den Kristall ganz zufallsartig abgelenkt werden, wenn sie an den Atomen des Kristalls vorbeifliegen, mal rechts, mal links. Man kann den Elektronenstrahl nach dem Durchgang durch den Kristall auf einer Fotoplatte auffangen. (Elektronen vermögen die Fotoplatte zu schwärzen.) Der klassische Physiker rechnet ein wenig und sagt dann: Man erhält einen etwas verwaschenen, verschwommenen Fleck von der und der Größe; der Strahl wird ein wenig zerstreut. Aber Davisson und Germer erhielten ganz etwas anderes: sie erhielten das scharfe System der Laueschen Interferenzpunkte (s. Tafel 4)! **Die Elektronen erzeugen dieselben Interferenzen wie Röntgenstrahlen. Sie sind ein Wellenvorgang, eine ‚Materiewelle'. Die Wellenlänge ist etwa gleich der der Röntgenstrahlen.** Es gibt nichts daran zu deuteln.

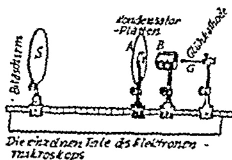


Das wäre absurd? Man müßte dann wohl auch mit Elektrizität sehen können, wenn sie eine Welle darstellt? Nun — man kann es; ungefähr so, wie man mit Hilfe von Röntgenstrahlen in den menschlichen Körper hineinsieht. Das berühmte Röntgenmikroskop, von dem die Physiker schon lange träumen, müßte noch zehntausendmal



kleinere Einzelheiten erkennen lassen als ein gewöhnliches Mikroskop (weil eben die Wellenlänge der Röntgenstrahlen rund zehntausendmal kleiner als die des Lichts ist), wenn — ja, wenn wir Linsen für Röntgenlicht bauen könnten. Das können wir nicht. Röntgenstrahlen werden von keiner Linse gebrochen.

Aber die „Materiewelle" eines Elektrons fällt in die Größenordnung der Röntgenwellen — und wir können Elektronenlinsen bauen. Geeignete elektrische oder magnetische Felder lenken Elektronenstrahlen ab: Man sieht, wie die elektrischen Feldlinien aus dem Loch in den Kondensatorplatten herausquellen und schon rein äußerlich Linsenform annehmen. Ein Elektronenbündel, das von der Glühkathode ausstrahlt, wird von diesem elektrischen Feld — genau wie ein Lichtstrahl in der Linse — auf einen Punkt konzentriert, und so entsteht dort ein „Elektronenbild" von der Glühkathode. Man bringt an diese Stelle einen Leuchtschirm, der überall dort hellgrün aufleuchtet, wo Elektronen auftreffen. So hat man das Elektronenbild ins Sichtbare übersetzt — wie im Schuhladen das Röntgenbild des Fußgerippes durch einen Leuchtschirm sichtbar gemacht wird. Und dieses Bild enthüllt — oder es soll das einmal tun, sobald die Technik weit genug fortgeschritten sein wird — zehntausendmal feinere Einzelheiten als das Bild der Mikroskope. Das theoretische Auflösungsvermögen ist mit einem Schlag auf das Zehntausendfache gesteigert.



Die einzelnen Teile des Elektronenmikroskops

Noch haben wir solche Vergrößerungen nicht erreicht. Aber eine andere Möglichkeit ist uns wichtiger. Brüche und Johannson haben durch das Elektronenmikroskop die elektrischen Vorgänge an der Glühkathode, die ‚Elektronenemission' fortlaufend sichtbar machen können. Sie haben dadurch ganz neue, auch technisch wichtige Erkenntnisse über den Emissionsvorgang gewonnen (Tafel 5). Und sie sagen: „Vielleicht wird man später einmal Elektronenfernrohre bauen — dann könnten wir eine ferne, elektronenaussendende Welt betrachten. Vielleicht sehen wir dann die Sonnenflecken mit ihren elektrischen Kratern und den Eruptionsvorgängen elektrischer Partikel!"

Der neuen Theorie wird häufig der Vorwurf gemacht, sie hätte jeglichen festen Boden unter den Füßen verloren. Die Materie hätte sich in den Händen der neuen, völlig bedenkenlosen Männer verflüchtigt, nichts bliebe übrig nach dem rücksichtslosen Umsturz der guten klassischen Physik als ein paar geheimnisvolle, blutleere Symbole der Mathematik. Aber man wird den Vorwurf kaum aufrechterhalten können, wenn die Theorie sich auf ein so handgreifliches Zeugnis wie den Davisson-Versuch und das Elektronenmikroskop stützen kann. Die alte Geschichte: Wir können der Natur nicht vorschreiben, wie sie zu sein hat, wir müssen sie hinnehmen. Wir müssen eine Reihe haltloser, ungerechtfertigter Denkvoraussetzungen aufgeben.

Vor allem aber müssen wir den — ich gebe zu — etwas furchteinflößenden Ausdrücken wie ‚Materiewellen', ‚Interferenz der Wahrscheinlichkeit' mit der notwendigen Unvoreingenommenheit gegenübertreten. Dann verlieren die Gespenster ihr greuliches Aussehen und werden ganz vernünftig.

Sie stoßen sich am Ausdruck ‚Materiewellen'? Daran tragen Hittorf und Crookes die Schuld, die ihre Entdeckung des ‚Elektrons' zu früh gemacht haben. Nehmen wir an, beide hätten nie gelebt; nehmen wir an, die Vorstellungen von Elektronen und Protonen, Rutherfords ‚Kern-Atom' und dergleichen gäbe es nicht,

Noch haben wir solche Vergrößerungen nicht erreicht. Aber eine andere Möglichkeit ist uns wichtiger. Brüche und Johannson haben durch das Elektronenmikroskop die elektrischen Vorgänge an der Glühkathode, die ‚Elektronenemission' fortlaufend sichtbar machen können. Sie haben dadurch ganz neue, auch technisch wichtige Erkenntnisse über den Emissionsvorgang gewonnen (Tafel 5). Und sie sagen: „Vielleicht wird man später einmal Elektronenfernrohre bauen — dann könnten wir eine ferne, elektronenaussendende Welt betrachten. Vielleicht sehen wir dann die Sonnenflecken mit ihren elektrischen Kratern und den Eruptionsvorgängen elektrischer Partikel!"

Der neuen Theorie wird häufig der Vorwurf gemacht, sie hätte jeglichen festen Boden unter den Füßen verloren. Die Materie hätte sich in den Händen der neuen, völlig bedenkenlosen Männer verflüchtigt, nichts bliebe übrig nach dem rücksichtslosen Umsturz der guten klassischen Physik als ein paar geheimnisvolle, blutleere Symbole der Mathematik. Aber man wird den Vorwurf kaum aufrechterhalten können, wenn die Theorie sich auf ein so handgreifliches Zeugnis wie den Davisson-Versuch und das Elektronenmikroskop stützen kann. Die alte Geschichte: Wir können der Natur nicht vorschreiben, wie sie zu sein hat, wir müssen sie hinnehmen. Wir müssen eine Reihe haltloser, ungerechtfertigter Denkvoraussetzungen aufgeben.

Vor allem aber müssen wir den — ich gebe zu — etwas furchteinflößenden Ausdrücken wie ‚Materiewellen', ‚Interferenz der Wahrscheinlichkeit' mit der notwendigen Unvoreingenommenheit gegenübertreten. Dann verlieren die Gespenster ihr greuliches Aussehen und werden ganz vernünftig.

Sie stoßen sich am Ausdruck ‚Materiewellen'? Daran tragen Hittorf und Crookes die Schuld, die ihre Entdeckung des ‚Elektrons' zu früh gemacht haben. Nehmen wir an, beide hätten nie gelebt; nehmen wir an, die Vorstellungen von Elektronen und Protonen, Rutherfords ‚Kern-Atom' und dergleichen gäbe es nicht,

nehmen wir an, wir wüßten nur eines: Es gibt Elektrizität, die unter Umständen als „Kathodenstrahl" frei in den Raum hinaustreten kann. Man schickt den Kathodenstrahl durch einen Nickelkristall — und man bemerkt, daß Interferenzen auftreten. „Sehr gut", sagt man und berichtet an die Fachblätter: „Ich habe durch meine Kristallversuche eindeutig bewiesen, daß die Elektrizität, die Kathodenstrahlen ein Wellenvorgang sind." v. Laue, Young und Fresnel hatten auch keine besseren Gründe.

Es mag als eine Art Zufall erscheinen, daß wir nicht schon viel früher den Wellencharakter der Materie erkannt haben. Aber die Überlegungen von Heisenberg haben gezeigt, daß das seltsame, zweideutige Verhalten der Natur, das wir durch die neuen Formen der Quanten- und Wellenmechanik zu erfassen suchen, erst in atomkleinen Ausmaßen beginnt — erst in diesem Unterliliput, das der Physik des 20. Jahrhunderts vorbehalten blieb.

Das Licht läßt sich immer als Welle auffassen. Erst wenn man es bis ins Atom hinein verfolgt, wo es entsteht oder vergeht — erst dort muß man von einem Lichtquant reden. Die Materie kann man völlig zureichend durch ein Partikelbild beschreiben, das heißt als aus einzelnen Atomen bestehend. Erst wenn man die Atome selbst näher erforscht, die Elektronen und Protonen, wird man zum Wellenbild geführt; gerade der Davisson-Versuch erfordert ja, daß die Elektronen ins Innere der Atome des Nickelkristalls eindringen und an den Atomkernen abgebeugt werden.

Es spricht für die Theoretiker, daß sie nicht auf das Davisson-Experiment gewartet hatten, sondern daß sie schon einige Jahre früher die verblüffende Idee der „Materiewellen" zu fassen gewagt hatten. Prinz Louis de Broglie war der erste (1923).

Man war damals vielleicht zum ersten Male in der Geschichte der Physik mißtrauisch geworden. Immer vorher, solange physikalische Forschung betrieben wurde, hatte man es für selbstverständlich gehalten, daß die Natur sich „vernünftig" benehmen müsse, daß sie widerspruchslos und genau [illegible] und dies ist eine erhebliche

Anmaßung! — daß sie „anschaulich" sein müsse; daß sich immer ein einheitliches Bild für alle Naturvorgänge finden lassen müsse. Gerade das wird heute von manchen bezweifelt.

Lurche

Die Physiker des 20. Jahrhunderts waren von der Bosheit des Lichts überrascht.

Mit Lurchen, mit Amphibien hatte die Physik bis dahin nicht gerechnet, mit Geschöpfen, die sich im Wasser und auf dem Land gleich heimisch fühlen. Aber nun erkannte man: Das Licht wollte sich keinem einfachen Schema fügen — es war Welle und Quant zugleich. Das Licht war ein Lurch. Es lag nahe zu untersuchen, ob vielleicht die bisher für harmlos erdverbunden gehaltene Materie, ob Elektronen und Protonen auch schwimmen könnten! Ob auch sie Lurche wären — ob sie vielleicht auch Wellencharakter hätten.

Der erste Schritt in dieser Richtung liegt lange zurück. Sir William Hamilton hat vor nunmehr hundert Jahren die Mechanik einem allgemeinen Prinzip unterordnen können, das geradezu erschreckende Ähnlichkeit mit dem Prinzip vom „eiligen Lichtstrahl" besitzt. Die mathematische Form beider Prinzipien ist genau die gleiche; wirklich hat Hamilton selbst auf eine Vereinigung mechanischer und optischer Prinzipien hingearbeitet. Damals wußte man noch nicht genug. Seine Zeit war für die endgültige Zusammenfassung noch nicht reif; aber mit nachtwandlerischer Sicherheit hat Hamilton die mathematischen Vorarbeiten geliefert. Später geriet gerade dieser Kern seiner Arbeit in Vergessenheit, und der von ihm aufgedeckte Zusammenhang galt als mathematisches Kuriosum, nichts weiter.

Ein Lichtstrahl, wir erinnern uns, läuft immer so, daß er sein Ziel so rasch wie möglich erreicht. Dies Prinzip ist nur aus der Wellenvorstellung verständlich: Die Krümmung der Lichtstrahlen in der Atmosphäre etwa ist eine Folge des langsamen Einschwenkens

so viel größer als die des Elektrons ist: Erst eine Milliarde Billionen Billionen Ihrer Materiewellen ergeben einen Zentimeter!

Schrödinger aber hat sein Hauptproblem nicht vergessen: Das Atom. Er geht so vor: Man weiß, daß der Atomkern winzig klein ist. Man berechnet, wie eine Materiewelle von dem Atomkern abgebeugt wird.

Ein winziges Stäubchen, flirrend im Sonnenglanz, beugt das Licht ab. Um das Staubkorn herum entsteht eine helleuchtende, nicht ganz scharf begrenzte Lichtwolke, ein ‚Beugungshof', der immer ein paar Lichtwellenlängen groß ist, einerlei, wie klein das Stäubchen sein mag. Alle die Lichtpünktchen, die im schrägen Strahl der Nachmittagssonne aufflimmern, sind solche Beugungshöfe.

Ein Atomkern, winzig klein, beugt eine Elektronenwelle ab. Um ihn herum entsteht ein „Beugungshof", eine nicht ganz scharf begrenzte Wolke, die immer von der Größenordnung der Materiewelle ist — ein paar hundertmillionstel Zentimeter. Und, so sagt Schrödinger, dieser Beugungshof ist das Atom. Man sieht, Schrödinger hat die Elektronen über einen gewissen Raum „verschmiert". Die Bohrschen Bahnen finden sich nur noch andeutungsweise, unscharf und verschwommen wieder. Man kann die Größe eines Atoms experimentell bestimmen, freilich nicht sehr genau, und man erhält einen Wert von ein paar hundertmillionstel Zentimeter, wie ihn Schrödinger für seinen Beugungshof fordert. Daß die Größe richtig herauskommt, ist schon recht sympathisch. Aber es geht weiter. Schrödinger rechnet mit Hilfe der berühmten Wellengleichung die Energie dieser Atomwolke aus. Überraschenderweise ergibt sich, daß die Energie nur bestimmte Werte annehmen kann. Es sind beinahe die Werte der Bohrschen Theorie — aber Schrödingers Energiewerte sind der Erfahrung besser angepaßt! Die Übereinstimmung mit den Messungen ist vollkommen. Schrödingers



fließende, kontinuierliche Differentialgleichung hat von selbst, vermöge ihrer mathematischen Struktur, erklärt, wieso einem Atom nur bestimmte Energiewerte möglich sind. Bohr mußte an dieser Stelle das erste Postulat vorschreiben. Schrödinger hat keine Postulate nötig.

Es will uns scheinen, als ob solch eine mathematische Einführung der Quantengesetze befriedigender wirken muß als eine nachträglich von irgendwoher hineingeschneite Quantenforderung, als ob sie sie in einem gewissen Grade erklärt. Wir haben so viel mehr Vertrauen zur Mathematik; wir können uns der zwingenden Logik ihrer Schlüsse nicht entziehen; aber das ist es nicht allein.

Wir müssen den Wallenstein zitieren:

Terzky: Der Wein spricht aus ihm. Hört ihn nicht, ich bitt' euch!
Isolani: Der Wein erfindet nichts, er schwatzt's nur aus!

So ist es mit der Mathematik. Die Mathematik erfindet nichts, sie schwatzt's nur aus. Die mathematischen Formeln vermögen niemals mehr zu geben, als im Ansatz enthalten war. Freilich, sie helfen uns den Ansatz völlig zu verstehen. Die Mathematik ist ein Instrument, ein Mikroskop. Je besser wir den mathematischen Formalismus beherrschen, je mehr wir die Technik verfeinern, um so mehr physikalische Feinheiten wird es uns enthüllen.

Die Mathematiker haben von sich aus diesen Formalismus so weit wie möglich entwickelt, ohne sich viel um Anwendungsmöglichkeiten zu kümmern. So fand Heisenberg die für seine Zwecke notwendige ‚Matrizenrechnung' bereits fertig vor, und Schrödinger stieß auf eine Differentialgleichung, die aus der Mathematik schon lange genau bekannt war.

Wahrscheinlichkeit

Also gibt es nur noch Wellen? Die Materie ist in Wellen aufgelöst? Nein — leider haben wir etwas übertrieben. Der Fall liegt nicht so einfach. Es schien ja einen Augenblick, als ließe sich mit der

Wellenmechanik, mit Schrödingers großartiger Gleichung, die wie eine gehorsame ‚Quantelungsmühle' dastand, bereit, auf den Wink ihres Schöpfers alles zu verschlingen und frisch ‚gequantelt' wieder auszuspucken, als ließe sich damit die uralte Streitfrage eindeutig zugunsten der Wellenauffassung der Welt entscheiden. Schrödinger selbst ist anfangs dieser Versuchung erlegen. Aber es war ein kurzer Traum.

Die Materiewellen, wie wir sie jetzt kennen, sind doch nichts physikalisch Wirkliches. Sie verlaufen in einem rein mathematischen Raum mit höherer als Lichtgeschwindigkeit — schon das muß uns gegen sie einnehmen. Man hat sie ‚Führungswellen' genannt, und dieser Name trifft das Wesen der Sache besser. Die materiellen Teilchen sind in einem gewissen Sinn die Schatten dieser Wellen, nur Symbole dieser Symbole, die gespenstisch im kalten, nüchternen mathematischen Raum einherziehen. Und die Teilchen haben keinen eigenen Willen. Sie müssen tun, was ihnen die Wellen vorschreiben. Wenn es zwei Führungswellen paßt, sich durch Interferenz auszulöschen — so haben auch die entsprechenden Teilchen dort zu verschwinden!

Ganz so gespenstisch, wie sie sich jetzt darstellt, ist die Sache nicht. Man hat mittlerweile die Schrödingerwellen besser verstehen gelernt; man weiß jetzt, was sie bedeuten. Sie sind ein Maß für die W a h r s c h e i n l i c h k e i t, das Teilchen am Ort der Welle anzutreffen. Wenn die Wellen nach dem Durchgang durch einen Kristall Interferenzpunkte zeigen, so heißt das: Hier und dort und dort ist eine große Wellenstärke — dort findet man viele Teilchen. Hier und da löschen sich die Wellen aus, dann ist die Wahrscheinlichkeit gleich Null. Und wirklich findet man an diesen Stellen kein einziges Elektron*). Sonderbar ist nur, daß die Wahrscheinlichkeit in Wellenform auftritt; aber etwas sonderbar ist die ganze Physik heute.

Wahrscheinlich sind Sie jetzt etwas enttäuscht. Sie haben sich gerade an den undenkbaren Gedanken der Materiewellen gewöhnt und beginnen sie zu begreifen. Nun kommen wir mit der Idee der

---

*) Auch die Lichtwellen kann man genau so auffassen: Als Maß der Wahrscheinlichkeit, hier oder dort ein Lichtquant anzutreffen.

fließende, kontinuierliche Differentialgleichung hat von selbst, vermöge ihrer mathematischen Struktur, erklärt, wieso einem Atom nur bestimmte Energiewerte möglich sind. Bohr mußte an dieser Stelle das erste Postulat vorschreiben. Schrödinger hat keine Postulate nötig.

Es will uns scheinen, als ob solch eine mathematische Einführung der Quantengesetze befriedigender wirken muß als eine nachträglich von irgendwoher hineingeschneite Quantenforderung, als ob sie sie in einem gewissen Grade erklärt. Wir haben so viel mehr Vertrauen zur Mathematik, wir können uns der zwingenden Logik ihrer Schlüsse nicht entziehen, aber das ist es nicht allein.

Wir müssen den Wallenstein zitieren:

Terzky: Der Wein spricht aus ihm. Hört ihn nicht, ich bitt' euch!
Isolani: Der Wein erfindet nichts, er schwatzt's nur aus!

So ist es mit der Mathematik. Die Mathematik erfindet nichts, sie schwatzt's nur aus. Die mathematischen Formeln vermögen niemals mehr zu geben, als im Ansatz enthalten war. Freilich, sie helfen uns den Ansatz völlig zu verstehen. Die Mathematik ist ein Instrument, ein Mikroskop. Je besser wir den mathematischen Formalismus beherrschen, je mehr wir die Technik verfeinern, um so mehr physikalische Feinheiten wird es uns enthüllen.

Die Mathematiker haben von sich aus diesen Formalismus so weit wie möglich entwickelt, ohne sich viel um Anwendungsmöglichkeiten zu kümmern. So fand Heisenberg die für seine Zwecke notwendige ‚Matrizenrechnung' bereits fertig vor, und Schrödinger stieß auf eine Differentialgleichung, die aus der Mathematik schon lange genau bekannt war.

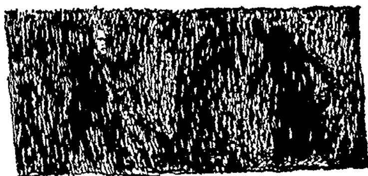
Wahrscheinlichkeit

Also gibt es nur noch Wellen? Die Materie ist in Wellen aufgelöst? Nein — leider haben wir etwas übertrieben. Der Fall liegt nicht so einfach. Es schien ja einen Augenblick, als ließe sich mit der

ATOMZERTRÜMMERUNG

Ich fürchte, dies ganze Kapitel war etwas zu mathematisch, zu trocken, zu theoretisch. So wollen wir zum Schluß noch einmal in die physikalische Wirklichkeit hineinschauen: Ins Laboratorium eines Atom-Physikers.

Zuerst war gar nichts zu sehen; es war zu dunkel. Dann zuckte eine kurze Sekunde ein grelles Schlaglicht aus der Finsternis, von einem metallischen, springenden Klang begleitet. Schon umgab



mich wieder die Nacht; aber ich hatte in diesem Augenblick das Gesicht des Mannes gesehen, bleich, gespenstisch, und den schmalen Kopf mit den zusammengekniffenen Augenbrauen, wie eine japanische Geistererscheinung im Dunkel der Nacht schwebend. Ein paar bläuliche Funken sprangen mit höhnischem Knistern wie Irrlichter mitten im Raum in der Luft umher, und ein seltsamer, stechender Geruch war im Zimmer. „So. Einen Augenblick!" murmelte jemand aus der Finsternis. „Was machen Sie denn dort?" fragte ich aufs Geratewohl in das Dunkel hinein. „Ich photographiere ein Atom!" antwortete der Geist. Es war ihm zuzutrauen!

Wahrscheinlichkeits-Wellen und werfen alles über den Haufen! Was soll das?

Nun, Schrödinger war auch enttäuscht. Die Materiewellen waren ihm doch sehr ans Herz gewachsen. Mit sehr viel Aufwand an Scharfsinn und Mathematik ist es ihm und anderen Forschern gelungen, sie auch in die neue Theorie hinüberzuretten — richtige Materiewellen, die in Raum und Zeit zu Hause sind, nicht in einem häßlichen mathematischen Raum. Aber wir können ihm auf diesem Weg nicht mehr folgen. Wir sehen nur: Materie wie Licht behalten ihre Lurch-Natur, sie sind Welle und Partikel. Der schwierige mathematische Formalismus der Quantenmechanik erklärt in gewissem Sinn, wie ein stetiges Wellenfeld zum Auftreten von Quanten Veranlassung geben kann. Aber abgesehen davon, daß die Quantenmechanik noch lange nicht am Ende ihrer Weisheit ist — wir sehen noch keine Möglichkeit, diesen Sachverhalt anschaulich zu fassen. Es bleibt bei dem: Welle und Partikel. Das Wellen- und das Partikelbild sind zwei Seiten einer Sache. Sie beide zusammen ergeben erst den vollständigen, den übergeordneten Begriff, dem wir wohl in der Quantenmechanik mathematischen Ausdruck gegeben haben — aber nicht mehr als das. Und ich kann nichts Besseres tun, als Schrödingers Schlußworte aus seinem Nobelvortrag hierher zu setzen:

> „Sie beide in einem einheitlichen Bild zu erfassen ist uns bisher nicht gelungen. Nur in extremen Fällen überwiegt der eine oder der andere Zusammenhang so sehr, daß wir mit dem Wellenbild allein oder mit dem Partikelbild allein auszukommen glauben."

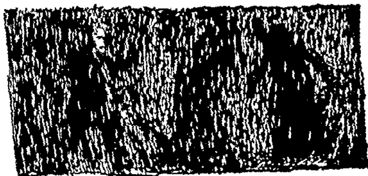
Und etwas früher:

> „Die Frage ist nur, ob man von nun an darauf wird verzichten müssen, die Beschreibung wie bisher anzuknüpfen an eine klare Hypothese darüber, wie die Welt wirklich beschaffen ist. Viele wollen den Verzicht heute schon aussprechen. Aber ich glaube, man macht sich die Sache dadurch ein bißchen zu leicht."

ATOMZERTRÜMMERUNG

Ich fürchte, dies ganze Kapitel war etwas zu mathematisch, zu trocken, zu theoretisch. So wollen wir zum Schluß noch einmal in die physikalische Wirklichkeit hineinschauen: Ins Laboratorium eines Atom-Physikers.

Zuerst war gar nichts zu sehen; es war zu dunkel. Dann zuckte eine kurze Sekunde ein grelles Schlaglicht aus der Finsternis, von einem metallischen, springenden Klang begleitet. Schon umgab



mich wieder die Nacht; aber ich hatte in diesem Augenblick das Gesicht des Mannes gesehen, bleich, gespenstisch, und den schmalen Kopf mit den zusammengekniffenen Augenbrauen, wie eine japanische Geistererscheinung im Dunkel der Nacht schwebend. Ein paar bläuliche Funken sprangen mit höhnischem Knistern wie Irrlichter mitten im Raum in der Luft umher, und ein seltsamer, stechender Geruch war im Zimmer. „So. Einen Augenblick!" murmelte jemand aus der Finsternis. „Was machen Sie denn dort?" fragte ich aufs Geratewohl in das Dunkel hinein. „Ich photographiere ein Atom!" antwortete der Geist. Es war ihm zuzutrauen!

Elemente senden Alpha-Teilchen aus, positiv geladene Helium-Atomkerne von gewaltiger Geschwindigkeit. Ein solches rasch dahinfliegendes Alpha-Teilchen beraubt die Luftmoleküle, die es in seiner Bahn trifft. Es entreißt ihnen Elektronen, es ‚ionisiert' sie, dank seiner großen lebendigen Kraft — solange es genügend Geschwindigkeit besitzt. Längs seiner Bahn hinterläßt es eine Spur von Jonen, und wenn Wasserdampf zugegen ist, genügend Wasserdampf, so wird er sich auf diesen Jonen niederschlagen, er wird um sie herum Nebeltröpfchen bilden. Die Bahn des Alpha-Teilchens zeichnet sich als ein Nebelstreif ab. Sie sehen, es brauchte einen Engländer, um auf diese Idee zu kommen.

Der Mann hieß C. T. R. Wilson. Und sein Apparat ist die berühmte Wilson-Kammer. Ein großer Zylinder mit einem Glasdeckel, dessen Boden durch einen beweglichen Kolben verschlossen wird und der eine genügende Menge feuchter Luft enthält. Mit einem plötzlichen Ruck, schlagartig, wird der Kolben heruntergezogen; die eingeschlossene feuchte Luft kühlt sich dabei plötzlich ab, und es tritt die sogenannte ‚Übersättigung' ein. Die Luft enthält mehr Wasserdampf, als sie eigentlich enthalten dürfte. Unruhig und angestrengt sucht der Wasserdampf nach Kondensationskernen — er findet keine in dem völlig staubfreien Zylinder. Es ist ein Augenblick höchster Spannung.

Und in diesem Augenblick öffnet Wilson eine Blende und läßt den Geschoßhagel der Alpha-Strahlen in seine Nebelkammer einbrechen, sie jagen durch den Zylinder und erzeugen längs ihrer Bahn Jonen. Das war es, worauf der Wasserdampf gewartet hatte — er stürzt sich auf die Jonen und bildet in Sekundenschnelle um jedes Jon einen kleinen Nebeltropfen. Im gleichen Moment schlägt ein Schalter herum, eine helle Lampe flammt auf und wirft ihren grellen Lichtkegel von der Seite in die Kammer, und der Verschluß einer über dem Apparat lauernden Kamera wird mit schwachem ‚Klick' ausgelöst und die Nebelbahn durch den Glasdeckel hindurch photographiert. Mit größter Genauigkeit müssen diese vier Vorgänge

glauben Sie, daß sich die Flintenkugel, selbst wenn sie schon einmal auf eine Mücke trifft, sehr von ihrer geraden Bahn abbringen lassen wird? Höchstens die Mücke würde etwas unsanft zur Seite geschleudert werden. Nicht anders ergeht es den Elektronen.

Indessen, schon Münchhausen wußte von einem Zusammenstoß zweier Kanonenkugeln in der Luft zu berichten; im Weltkrieg mag es dann und wann wirklich vorgekommen sein, daß zwei Kugeln in ihrem Flug aufeinanderprallten. Der Fall ist sicher nicht übermäßig



häufig; aber unter tausend oder zehntausend Fällen kann es schon einmal vorkommen, und dann wird wohl auch die Kanonenkugel erheblich seitwärts geschleudert. Und hier, auf diesem einen Bild ist so ein Münchhausen-Erlebnis. Hier flog der Alpha-Teil geradenwegs auf einen Kern zu, auf den Kern eines Stickstoff-Atoms. Dieser Kern ist fast viermal schwerer als der Alpha-Teil, und in seiner nächsten Umgebung besteht ein stärkstes, konzentriertes elektrisches Feld. Es kann — und meistens wird das der Fall sein — eintreten, daß der Alpha-Teil ein klein wenig seitlich an der drohenden Gefahr vorbeischießt. Dann wird er vom elektrischen Feld ergriffen und seitlich abgelenkt — zur ‚Ecke' abgelenkt sagen die Fußballer. Er kann unter Umständen dem Stickstoff-Kern dabei einen so kräftigen Stoß versetzen, daß auch dieser mit großer Geschwindigkeit weiterfliegt, genügend schnell, um auch seinerseits die Luft zu ionisieren und einen Nebelstreif hervorzuzaubern. Gelingt es, diese Münchhausiade auf

glauben Sie, daß sich die Flintenkugel, selbst wenn sie schon einmal auf eine Mücke trifft, sehr von ihrer geraden Bahn abbringen lassen wird? Höchstens die Mücke würde etwas unsanft zur Seite geschleudert werden. Nicht anders ergeht es den Elektronen.

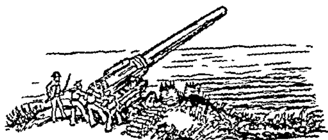
Indessen, schon Münchhausen wußte von einem Zusammenstoß zweier Kanonenkugeln in der Luft zu berichten; im Weltkrieg mag es dann und wann wirklich vorgekommen sein, daß zwei Kugeln in ihrem Flug aufeinanderprallten. Der Fall ist sicher nicht übermäßig



häufig; aber unter tausend oder zehntausend Fällen kann es schon einmal vorkommen, und dann wird wohl auch die Kanonenkugel erheblich seitwärts geschleudert. Und hier, auf diesem einen Bild ist so ein Münchhausen-Erlebnis. Hier flog der Alpha-Teil geradenwegs auf einen Kern zu, auf den Kern eines Stickstoff-Atoms. Dieser Kern ist fast viermal schwerer als der Alpha-Teil, und in seiner nächsten Umgebung besteht ein stärkstes, konzentriertes elektrisches Feld. Es kann — und meistens wird das der Fall sein — eintreten, daß der Alpha-Teil ein klein wenig seitlich an der drohenden Gefahr vorbeischießt. Dann wird er vom elektrischen Feld ergriffen und seitlich abgelenkt — zur ‚Ecke' abgelenkt sagen die Fußballer. Er kann unter Umständen dem Stickstoff-Kern dabei einen so kräftigen Stoß versetzen, daß auch dieser mit großer Geschwindigkeit weiterfliegt, genügend schnell, um auch seinerseits die Luft zu ionisieren und einen Nebelstreif hervorzuzaubern. Gelingt es, diese Münchhausiade auf

ihm gestellten Einzelfragen hat er einer ganzen Forschergeneration genug Arbeit gegeben. Aber zunächst eröffnete er die Beschießung. Es war im Jahre 1919.

Man könnte eine Riesenkanone, eine „Dicke Berta", an der Küste aufstellen und einfach auf den Ozean hinausschießen, in der unbe-



stimmten Hoffnung, einmal ein Schiff zu treffen. Was halten Sie davon?"

„Tja, wenig Aussichten, wie? Ich glaube nicht, daß das Verfahren viel Erfolg haben wird. Vielleicht, wenn man eine Batterie von tausend Geschützen aufbaut und einen dichten Hagel von Schrapnells abschießt . . ."

„Ja, so ähnlich ging Rutherford auch vor. Er schoß einen dichten Hagel von Alpha-Teilen aus einer strahlenden Substanz — es war Radium C, mit die stärkste Energiequelle, die wir besitzen — in ein mit Stickstoff gefülltes Gefäß. Zehntausend und hunderttausend Geschosse schleuderte sein Präparat in die Stickstoff-Atmosphäre. Und wissen Sie, was Rutherford auf einmal darin entdeckte?"

„Keine Ahnung!"

„Das können Sie auch kaum ahnen — es war Wasserstoff! Sir Ernest beobachtete ‚Wasserstoff-Strahlen', sehr schnelle, sehr weit fliegende Wasserstoff-Kerne, Protonen also!"

„Wo um Gottes willen kam denn der Wasserstoff her? Ich denke, das Gefäß enthielt Stickstoff?"

„So war es auch, und Rutherford sah sich zu einem neuen überraschenden Schluß gezwungen — er war nicht der Mann, der den

Folgerungen seiner Experimente ausgewichen wäre, mochten sie noch so ungeheuerlich sein. Der Wasserstoff entstammte dem Stickstoff! Tausende und zehntausende Schüsse waren daneben gegangen oder wurden zur „Ecke' abgelenkt. Aber schließlich war es doch so weit — einer der rasenden Alpha-Teile schoß unausweichlich auf einen Stickstoff-Kern zu. Der Zusammenprall, das Verhängnis war nicht mehr abzuwenden ... Volltreffer! Die Küstenbatterie hatte einen Dampfer auf der weiten Wasserwüste des Ozeans erwischt! Der Alpha-Teil schlug auf den Stickstoff-Kern auf, und der Stickstoff-Kern, dieses künstliche Gefüge aus Protonen und Neutronen, hielt nicht stand; ein Proton, ein Wasserstoff-Kern wurde mit elementarer Gewalt aus dem Kernbau hinausgeworfen. Ein herrenloses Proton, ein Wasserstoff-Strahl durchjagte das Versuchsgefäß.

Atomzertrümmerung! Zum erstenmal war sie künstlich gelungen, das Privileg der radioaktiven Elemente war durchbrochen. Der Mensch war imstande, in seinem Laboratorium den Atomzerfall einzuleiten, er konnte die Umwandlung von Stickstoff in Wasserstoff nach seinem Willen und durch seine Kunst hervorrufen. Wovon die Alchimisten Jahrhunderte geträumt hatten — mit dem schwachen Aufblitzen des Leuchtschirms unter Rutherfords Mikroskop war es Tatsache geworden.

Die Physiker gingen später noch weiter als Rutherford — sie fotografierten die Alchimisten-Träume. P. M. S. Blackett in Cambridge gelangen die ersten Nebelaufnahmen von Zertrümmerungen, Bilddokumente vom Untergang einer Welt im Kleinen. Dreiundzwanzigtausend Aufnahmen machte Blackett mit seiner automatisch repetierenden Wilson-Kamera. 415 000 Alpha-Teile wurden auf ihrer Bahn fotografiert. Und acht Fälle einer Zertrümmerung fanden sich auf den Filmen. Acht Aufnahmen von dreiundzwanzigtausend, auf denen zu sehen ist, wie der befreite Wasserstoff-Strahl in die weite Welt hinausschießt (Tafel 7)."

Huxley hat die Forscher unserer Tage mit Mönchen verglichen, die, vergraben in ihren Instituten, fanatisch und weltvergessen den

geheimnisvollen Gebräuchen ihrer Wissenschaft leben. Daran mußte ich denken. Hätte wohl ein Mönch im Mittelalter die unheimliche Geduld, die fanatische Zähigkeit aufbringen können, die zu Blacketts Arbeit gehörte, zu dieser Arbeit, bei der auf fünfzigtausend Nieten ein Gewinn kommt?

„Atomzerfall", fuhr der Gelehrte fort. „Explosion des Stickstoffs. Künstliche Auslösung der gewaltigen Energien, die in den Atomkernen vorhanden sein müssen . . ."

Ich vermochte seinen Worten plötzlich nicht mehr zu folgen. Vor meinen Gedanken stand ein grausiges Bild, von dem ich einmal irgendwo gelesen haben mußte:

Ein französischer Forscher begann im 19. Jahrhundert ein großartiges Experiment. Er wollte die Luft anzünden. Im elektrischen Flammenbogen brachte er den Stickstoff und den Sauerstoff der Luft zur Vereinigung. Der Versuch gelang — aber im Augenblick danach taumelte der Forscher von einem furchtbaren Schreck ergriffen aus dem Laboratorium, kalkweiß im Gesicht, verstört, entsetzt. Wie, wenn die Luft weitergebrannt hätte? Wenn sie nicht gleich wieder erloschen wäre, wenn der Brand sich wie bei einer angezündeten Wachskerze weitergefressen hätte, wenn das Feuer aus dem Laboratorium herausgeschlagen wäre, das freie Luftmeer ergriffen hätte und mit elementarer Gewalt über den Erdball gerast wäre — eine einzige lohende Kugel die Erde — und ihre Bewohner verkohlt und erstickt!

Ob Rutherford dieser Gedanke auch gekommen war? Man weiß nicht, was er nach seinen Stickstoff-Versuchen empfand; aber vielleicht mischte sich ein ähnlicher Schreck in seine heiße Freude. Was wäre geschehen, wenn das Stickstoff-Atom explodiert wäre?

„Was wäre dann geschehen?" Ich schrie die Worte dem ernsten, ruhigen Mann mir gegenüber fast ins Gesicht. „Sagen Sie mir — was wäre dann geworden?"

„Wann?" fragte er sachlich und unbewegt zurück. „Was sollte werden?"

Folgerungen seiner Experimente ausgewichen wäre, mochten sie noch so ungeheuerlich sein. Der Wasserstoff entstammte dem Stickstoff! Tausende und zehntausende Schüsse waren daneben gegangen oder wurden zur ‚Ecke' abgelenkt. Aber schließlich war es doch so weit — einer der rasenden Alpha-Teile schoß unausweichlich auf einen Stickstoff-Kern zu. Der Zusammenprall, das Verhängnis war nicht mehr abzuwenden ... Volltreffer! Die Küstenbatterie hatte einen Dampfer auf der weiten Wasserwüste des Ozeans erwischt! Der Alpha-Teil schlug auf den Stickstoff-Kern auf, und der Stickstoff-Kern, dieses künstliche Gefüge aus Protonen und Neutronen, hielt nicht stand; ein Proton, ein Wasserstoff-Kern wurde mit elementarer Gewalt aus dem Kernbau hinausgeworfen. Ein herrenloses Proton, ein Wasserstoff-Strahl durchjagte das Versuchsgefäß.

Atomzertrümmerung! Zum erstenmal war sie künstlich gelungen, das Privileg der radioaktiven Elemente war durchbrochen. Der Mensch war imstande, in seinem Laboratorium den Atomzerfall einzuleiten, er konnte die Umwandlung von Stickstoff in Wasserstoff nach seinem Willen und durch seine Kunst hervorrufen. Wovon die Alchimisten Jahrhunderte geträumt hatten — mit dem schwachen Aufblitzen des Leuchtschirms unter Rutherfords Mikroskop war es Tatsache geworden.

Die Physiker gingen später noch weiter als Rutherford — sie fotografierten die Alchimisten-Träume. P. M. S. Blackett in Cambridge gelangen die ersten Nebelaufnahmen von Zertrümmerungen, Bilddokumente vom Untergang einer Welt im Kleinen. Dreiundzwanzigtausend Aufnahmen machte Blackett mit seiner automatisch repetierenden Wilson-Kamera. 415 000 Alpha-Teile wurden auf ihrer Bahn fotografiert. Und acht Fälle einer Zertrümmerung fanden sich auf den Filmen. Acht Aufnahmen von dreiundzwanzigtausend, auf denen zu sehen ist, wie der befreite Wasserstoff-Strahl in die weite Welt hinausschießt (Tafel 7)."

Huxley hat die Forscher unserer Tage mit Mönchen verglichen, die, vergraben in ihren Instituten, fanatisch und weltvergessen den

geheimnisvollen Gebräuchen ihrer Wissenschaft leben. Daran mußte ich denken. Hätte wohl ein Mönch im Mittelalter die unheimliche Geduld, die fanatische Zähigkeit aufbringen können, die zu *Blacketts Arbeit gehörte*, zu dieser Arbeit, bei der auf fünfzigtausend Nieten ein Gewinn kommt?

„Atomzerfall", fuhr der Gelehrte fort. „Explosion des Stickstoffs. Künstliche Auslösung der gewaltigen Energien, die in den Atomkernen vorhanden sein müssen . . ."

Ich vermochte seinen Worten plötzlich nicht mehr zu folgen. Vor meinen Gedanken stand ein grausiges Bild, von dem ich einmal irgendwo gelesen haben mußte:

Ein französischer Forscher begann im 19. Jahrhundert ein großartiges Experiment. Er wollte die Luft anzünden. Im elektrischen Flammenbogen brachte er den Stickstoff und den Sauerstoff der Luft zur Vereinigung. Der Versuch gelang — aber im Augenblick danach taumelte der Forscher von einem furchtbaren Schreck ergriffen aus dem Laboratorium, kalkweiß im Gesicht, verstört, entsetzt. Wie, wenn die Luft weitergebrannt hätte? Wenn sie nicht gleich wieder erloschen wäre, wenn der Brand sich wie bei einer angezündeten Wachskerze weitergefressen hätte, wenn das Feuer aus dem Laboratorium herausgeschlagen wäre, das freie Luftmeer ergriffen hätte und mit elementarer Gewalt über den Erdball gerast wäre — eine einzige lohende Kugel die Erde — und ihre Bewohner verkohlt und erstickt!

Ob Rutherford dieser Gedanke auch gekommen war? Man weiß nicht, was er nach seinen Stickstoff-Versuchen empfand; aber vielleicht mischte sich ein ähnlicher Schreck in seine heiße Freude. Was wäre geschehen, wenn das Stickstoff-Atom explodiert wäre?

„Was wäre dann geschehen?" Ich schrie die Worte dem ernsten, ruhigen Mann mir gegenüber fast ins Gesicht. „Sagen Sie mir — was wäre dann geworden?"

„Wann?" fragte er sachlich und unbewegt zurück. „Was sollte werden?"

Blacketts 415000 Bahnen mit den acht Treffern. Wie groß ist schon die Wahrscheinlichkeit, daß gerade einer dieser acht künstlich erzeugten Wasserstoff-Strahlen seinerseits einen Volltreffer erzielt? Sie ist so lächerlich gering, daß wir uns vorläufig über alle Bedenken hinwegsetzen können. Täglich und stündlich sind die Gelehrten heute bemüht, die Beschießung immer energischer zu steigern. Längst reichen die natürlichen Radiumstrahlen nicht mehr hin. Dichter und immer dichter will man den Kugelregen machen, und weil Radium nicht in genügender Menge zur Verfügung steht, so erzeugt man sich die schnellen Strahlen künstlich. Eigentlich ist dies ja auch eine Prestige-Frage. Man freut sich über Rutherfords Erfolg, aber hält ihn nicht für vollständig fair, weil er sozusagen mit des Gegners Waffen errungen wurde, weil die Strahlen von Radium C ‚natürliche' Strahlen sind. Erst eine Beschießung, die auch die Geschosse künstlich erzeugt, verdient wirklich den Namen: Künstliche Atomzertrümmerung. Man ist heute so weit."

„Was denken Sie — wird man wirklich einmal so weit kommen? Bis zur technischen Auswertung der Atomenergie?" fragte ich und vergaß meine Vorbehalte. „Es wäre doch nicht das erstemal, daß die ernste, weltabgewandte Forschung urplötzlich mit neuen Möglichkeiten, großen Chancen vor den Ingenieur und die Industrie hintritt und sagt: Bitte, bedient euch! Vielleicht gibt es bald in jedem Stadtviertel großartige Dampfkessel, der Ofen wird mit Feldsteinen und Schrott gefüllt, und dann naht der Herr Bezirks-Atomzertrümmerer, behördlich zugelassen, richtet seinen großen Strahler auf die Feldsteine und legt die Hebel um. Ein bläuliches Licht, stechender Ozongeruch, dann beginnt ein *feines*, leichtes Zischen, der erste Stein zerspringt. Die eingeleitete Atomzertrümmerung beginnt ihre Arbeit, die erste Wärme schlägt den Maschinisten entgegen. Der Bezirks-Atomzertrümmerer zieht weiter, und die Steine in der Heizung glühen und schwelen und zerfallen langsam. Für ein Jahr ist wieder Feuer unter den Kesseln.

Oder vielleicht baut ihr uns auch eine kleine Strahlungskammer,

den ersten Schlag ihre Lithium-Atome — in bisher unerreichter Anzahl."

„Und gibt es eine Erklärung dafür?"

„Ja — wir machen uns heute schon recht bestimmte Vorstellungen. Denken Sie an die sieben Protonen und die sieben Neutronen, die zusammen den Stickstoff-Kern bilden. Vielleicht hat man früher gedacht, daß diese sieben auf der Spitze eines hohen Berges vereint sitzen, daß sie von dort oben ihr Reich überschauen



und mit fester Hand ihre sieben Untertanen, die kreisenden Elektronen, regieren? Ein jeder Eindringling, der den Frieden dort oben stören will, jede Kugel, die die Harmonie auseinandersprengen soll, muß mindestens genug Energie haben, um den steilen Berg hinaufzurollen; und Sie können sich ja vorstellen, daß die meisten Kugeln, die etwas schief auftreffen, schon vorher von ihrer Bahn abgelenkt werden und harmlos vorbeirollen.

Nun, dies Bild trifft nicht ganz zu; die Herrscher sitzen nicht frei und königlich auf der ragenden Klippe — sie sind selbst gefangen. Der Berg ist ein Vulkan; tief unten, auf dem Grunde des Kraters — unter dem Erdniveau[1] — sind die Protonen und Neutronen vereinigt. In einem engen Loch von einem billiontel Millimeter Durchmesser laufen sie in sausender Fahrt umher — ihre Geschwindigkeit mag wohl 10000 km/sec betragen, wenn

ganz klein wenig auch in die Luft ein — sie kommt in Gebiete, die ihr nach der Strahlenoptik verboten sein sollten! Freilich, für gewöhnlich überlebt die Welle die Folgen ihres Übermuts nicht lange; ihre Stärke fällt im verbotenen Medium sehr rasch, schon nach ein paar Wellenlängen, fast auf Null. Denken Sie sich statt der Grenzschicht den steilen Potentialberg; und bedenken Sie nun, daß wir die Strahlenoptik der alten Mechanik verglichen haben.

Die alte Mechanik sagt: Ein Geschoß, das mit zu geringer Geschwindigkeit auf einen Potentialberg aufläuft, kehrt vor Erreichen der Höhe um und läuft wieder zurück; es wird elastisch reflektiert. Jedes Teilchen, das mehr als die nötige Grenzgeschwindigkeit hat, überschreitet den Berg und fällt ins jenseitige Loch. Aber die alte Mechanik lügt! Erst die Wellenmechanik erkennt die Wahrheit; immer dringt die Materiewelle ein wenig in den Potentialberg ein; wenn er dünn genug ist, kann sie ihn mit merklicher Stärke durchsetzen; sie kommt in Gebiete, die ihr nach der klassischen Mechanik verboten sein sollten. Die Materiewelle durchdringt — freilich sehr geschwächt! — den Potentialberg; und wenn wir sie wieder als Maß der Wahrscheinlichkeit betrachten, so können wir sagen: Auch bei ungenügender



Energie, bei einer Geschwindigkeit unter der Grenze, besitzt das Geschoß eine gewisse Wahrscheinlichkeit, hinter dem Potentialberg einzutreffen; es ‚gräbt sich einen Tunnel durch den Berg'. Und

man überhaupt berechtigt ist, solche Außenwelt-Begriffe wie ‚Geschwindigkeit' im Innern des Lochs noch anzuwenden.

Die Herrscher über die Elektronen sind selbst Gefangene, Gefangene ihrer selbst! Sie verstehen mich doch richtig? Dieser Vulkan kommt ja bloß durch die starke positive Ladung der Protonen zustande, durch die dieser ungeheure ‚Potentialwall' aufgeworfen wird, da ja auch die Geschosse, die Alpha-Strahlen, positiv geladen sind und zwei positive Ladungen sich abstoßen, können sie den Berg nicht überwinden. Bloß für die Anschauung ist es sehr bequem, so zu tun, als wären Protonen und Neutronen frei und von einem übermächtigen Geist in dies Loch hineingeworfen. Eine Art Selbsttäuschung der Protonen! Die Wallhöhe beträgt einige Millionen Volt."

„Dann ist also doch diese Spannung nötig — ein paar Millionen Volt! Die Kugel muß doch über den Potentialberg rollen können — sie kann doch nicht darunter durch!"

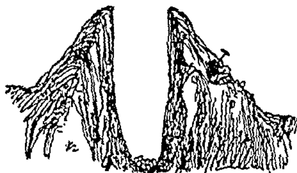
„Doch, das ist eben das überraschende Resultat der Wellenmechanik. Man muß sich wieder einmal blind der Wellenvorstellung anvertrauen. Sie wissen noch, wie ein Lichtstrahl ‚total' zurückgeworfen wird. Wenn er aus Glas in Luft tritt, so wird er gebrochen, und wenn der Winkel, unter dem er auf die Trennungsfläche trifft, groß genug ist, so wird er sozusagen so weit abgebrochen, daß er wieder ins Glas zurückläuft. Er wird vollkommen total reflektiert, stärker, als es der beste Silberspiegel könnte. Auf diesem Prinzip beruhen die Umkehrprismen, die im Prismenfeldstecher das Bild zweimal hin und herdrehen.



Der Strahlenpaket hat also [illegible] Lichtstrahl, der unter einem geringeren Neigungswinkel als dem [illegible] auf eine Grenzschicht trifft, wird dort total reflektiert. Aber [illegible] Schon Newton hat das gewußt, aber nicht recht erklären können. Erst die Wellen[illegible] [illegible]

ganz klein wenig auch in die Luft ein — sie kommt in Gebiete, die ihr nach der Strahlenoptik verboten sein sollten! Freilich, für gewöhnlich überlebt die Welle die Folgen ihres Übermuts nicht lange; ihre Stärke fällt im verbotenen Medium sehr rasch, schon nach ein paar Wellenlängen, fast auf Null. Denken Sie sich statt der Grenzschicht den steilen Potentialberg; und bedenken Sie nun, daß wir die Strahlenoptik der alten Mechanik verglichen haben.

Die alte Mechanik sagt: Ein Geschoß, das mit zu geringer Geschwindigkeit auf einen Potentialberg aufläuft, kehrt vor Erreichen der Höhe um und läuft wieder zurück; es wird elastisch reflektiert. Jedes Teilchen, das mehr als die nötige Grenzgeschwindigkeit hat, überschreitet den Berg und fällt ins jenseitige Loch. Aber die alte Mechanik lügt! Erst die Wellenmechanik erkennt die Wahrheit; immer dringt die *Materiewelle* ein wenig in den Potentialberg ein; wenn er dünn genug ist, kann sie ihn mit merklicher Stärke durchsetzen; sie kommt in Gebiete, die ihr nach der klassischen Mechanik verboten sein sollten. Die Materiewelle durchdringt — freilich sehr geschwächt! — den Potentialberg; und wenn wir sie wieder als Maß der Wahrscheinlichkeit betrachten, so können wir sagen: Auch bei ungenügender



Energie, bei einer Geschwindigkeit unter der Grenze, besitzt das Geschoß eine gewisse Wahrscheinlichkeit, hinter dem Potentialberg einzutreffen; es „gräbt sich einen Tunnel durch den Berg“. Und

man überhaupt berechtigt ist, solche Außenwelt-Begriffe wie ‚Geschwindigkeit' im Innern des Lochs noch anzuwenden.

Die Herrscher über die Elektronen sind selbst Gefangene; Gefangene ihrer selbst! Sie verstehen mich doch richtig? Dieser Vulkan kommt ja bloß durch die starke positive Ladung der Protonen zustande, durch die dieser ungeheure ‚Potentialwall' aufgeworfen wird; da ja auch die Geschosse, die Alpha-Strahlen, positiv geladen sind und zwei positive Ladungen sich abstoßen, können sie den Berg nicht überwinden. Bloß für die Anschauung ist es sehr bequem, so zu tun, als wären Protonen und Neutronen frei und von einem übermächtigen Geist in dies Loch hineingeworfen. Eine Art Selbsttäuschung der Protonen! Die Wallhöhe beträgt einige Millionen Volt."

„Dann ist also doch diese Spannung nötig — ein paar Millionen Volt! Die Kugel muß doch über den Potentialberg rollen können — sie kann doch nicht darunter durch!"

„Doch, das ist eben das überraschende Resultat der Wellenmechanik. Man muß sich wieder einmal blind der Wellenvorstellung anvertrauen. Sie wissen noch, wie ein Lichtstrahl ‚total' zurückgeworfen wird. Wenn er aus Glas in Luft tritt, so wird er gebrochen; und wenn der Winkel, unter dem er auf die Trennungsfläche trifft, groß genug ist, so wird sozusagen so weit gebrochen, daß er wieder ins Glas zurückläuft: Er wird vollkommen — total — reflektiert; stärker, als es der beste Silberspiegel könnte. Auf diesem Prinzip beruhen die Umkehrprismen, die im Prismenfeldstecher das Licht zweimal hin- und herschicken.



Die Strahlenoptik sagt also: Ein Lichtstrahl, der unter einem geringeren Neigungswinkel als dem Grenzwinkel auf eine Grenzschicht trifft, wird dort total reflektiert. Aber sie lügt! Schon Newton hat das gewußt aber nicht recht erklären können. Erst die Wellenoptik erkennt die Wahrheit; immer dringt die Welle ein

ganz klein wenig auch in die Luft ein — sie kommt in Gebiete, die ihr nach der Strahlenoptik verboten sein sollten! Freilich, für gewöhnlich überlebt die Welle die Folgen ihres Übermuts nicht lange; ihre Stärke fällt im verbotenen Medium sehr rasch, schon nach ein paar Wellenlängen, fast auf Null. Denken Sie sich statt der Grenzschicht den steilen Potentialberg; und bedenken Sie nun, daß wir die Strahlenoptik der alten Mechanik verglichen haben.

Die alte Mechanik sagt: Ein Geschoß, das mit zu geringer Geschwindigkeit auf einen Potentialberg aufläuft, kehrt vor Erreichen der Höhe um und läuft wieder zurück; es wird elastisch reflektiert. Jedes Teilchen, das mehr als die nötige Grenzgeschwindigkeit hat, überschreitet den Berg und fällt ins jenseitige Loch. Aber die alte Mechanik lügt! Erst die Wellenmechanik erkennt die Wahrheit; immer dringt die Materiewelle ein wenig in den Potentialberg ein; wenn er dünn genug ist, kann sie ihn mit merklicher Stärke durchsetzen; sie kommt in Gebiete, die ihr nach der klassischen Mechanik verboten sein sollten. Die Materiewelle durchdringt — freilich sehr geschwächt! — den Potentialberg; und wenn wir sie wieder als Maß der Wahrscheinlichkeit betrachten, so können wir sagen: Auch bei ungenügender



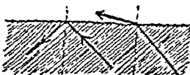
Energie, bei einer Geschwindigkeit unter der Grenze, besitzt das Geschoß eine gewisse Wahrscheinlichkeit, hinter dem Potentialberg anzutreffen; es gräbt sich einen Tunnel durch den Berg*. Und

man überhaupt berechtigt ist, solche Außenwelt-Begriffe wie ‚Geschwindigkeit' im Innern des Lochs noch anzuwenden.

Die Herrscher über die Elektronen sind selbst Gefangene; Gefangene ihrer selbst! Sie verstehen mich doch richtig? Dieser Vulkan kommt ja bloß durch die starke positive Ladung der Protonen zustande, durch die dieser ungeheure ‚Potentialwall' aufgeworfen wird; da ja auch die Geschosse, die Alpha-Strahlen, positiv geladen sind und zwei positive Ladungen sich abstoßen, können sie den Berg nicht überwinden. Bloß für die Anschauung ist es sehr bequem, so zu tun, als wären Protonen und Neutronen frei und von einem übermächtigen Geist in dies Loch hineingeworfen. Eine Art Selbsttäuschung der Protonen! Die Wallhöhe beträgt einige Millionen Volt."

„Dann ist also doch diese Spannung nötig — ein paar Millionen Volt! Die Kugel muß doch über den Potentialberg rollen können — sie kann doch nicht darunter durch!"

„Doch, das ist eben das überraschende Resultat der Wellenmechanik. Man muß sich wieder einmal blind der Wellenvorstellung anvertrauen. Sie wissen noch, wie ein Lichtstrahl ‚total' zurückgeworfen wird. Wenn er aus Glas in Luft tritt, so wird er gebrochen; und wenn der Winkel, unter dem er auf die Trennungsfläche trifft, groß genug ist, so wird sozusagen so weit gebrochen, daß er wieder ins Glas zurückläuft: Er wird vollkommen — total — reflektiert; stärker, als es der beste Silberspiegel könnte. Auf diesem Prinzip beruhen die Umkehrprismen, die im Prismenfeldstecher das Licht zweimal hin- und herschicken.



Die Strahlenoptik sagt also: Ein Lichtstrahl, der unter einem geringeren Neigungswinkel als dem Grenzwinkel auf eine Grenzschicht trifft, wird dort total reflektiert. Aber sie lügt! Schon Newton hat das gewußt aber nicht recht erklären können. Erst die Wellenoptik erkennt die Wahrheit; immer dringt die Welle ein

ganz klein wenig auch in die Luft ein — sie kommt in Gebiete, die ihr nach der Strahlenoptik verboten sein sollten! Freilich, für gewöhnlich überlebt die Welle die Folgen ihres Übermuts nicht lange; ihre Stärke fällt im verbotenen Medium sehr rasch, schon nach ein paar Wellenlängen, fast auf Null. Denken Sie sich statt der Grenzschicht den steilen Potentialberg; und bedenken Sie nun, daß wir die Strahlenoptik der alten Mechanik verglichen haben.

Die alte Mechanik sagt: Ein Geschoß, das mit zu geringer Geschwindigkeit auf einen Potentialberg aufläuft, kehrt vor Erreichen der Höhe um und läuft wieder zurück; es wird elastisch reflektiert. Jedes Teilchen, das mehr als die nötige Grenzgeschwindigkeit hat, überschreitet den Berg und fällt ins jenseitige Loch. Aber die alte Mechanik lügt! Erst die Wellenmechanik erkennt die Wahrheit; immer dringt die Materiewelle ein wenig in den Potentialberg ein; wenn er dünn genug ist, kann sie ihn mit merklicher Stärke durchsetzen; sie kommt in Gebiete, die ihr nach der klassischen Mechanik verboten sein sollten. Die Materiewelle durchdringt — freilich sehr geschwächt! — den Potentialberg; und wenn wir sie wieder als Maß der Wahrscheinlichkeit betrachten, so können wir sagen: Auch bei ungenügender

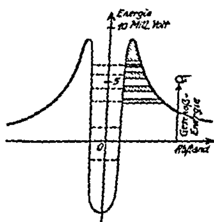


Energie, bei einer Geschwindigkeit unter der Grenze, besitzt das Geschoß eine gewisse Wahrscheinlichkeit, hinter dem Potentialberg einzutreffen, es „gräbt sich einen Tunnel durch den Berg“. Und

wie ihr Schatten folgt ihr das körperliche Teilchen, wie wir wissen. Das ist der berühmte ‚Gamowsche Tunnel-Effekt'.

Die Lage ist sogar noch ein wenig günstiger. Es scheint, als wäre das Gestein des Potentialbergs nicht überall gleich hart, als gäbe es in verschiedenen Höhen Stellen größerer und geringerer Durchlässigkeit. Wir müssen bedenken, daß das Geschoß auch im Kern irgendwo bleiben muß, und seit Bohr sind wir vorsichtig. Man muß vermuten, daß auch der Atomkern, wie das Atom als Ganzes, nur in gewissen Energiestufen existieren kann; daß also das eingedrungene Geschoß sich wieder eine Treppenstufe aussuchen muß (vgl. S. 260); es fällt nicht gleich auf den Boden.

Es ist ziemlich verständlich, daß ein kluges Geschoß seinen Tunnel so anlegen wird, daß er genau auf einer solchen Treppenstufe landet. In diesem Fall ist die Wahrscheinlichkeit des Eindringens am größten. Ein schnelleres Geschoß, eins mit größerer Energie, dessen Tunnel höher liegt und nicht auf einer Energiestufe landet, wird dann weniger Chancen haben, eine Zertrümmerung herbeizuführen, als das langsame. Dies scheint reichlich widersinnig, aber Chadwick hat wirklich zeigen können, daß bei Steigerung der Geschwindigkeit — der Geschoßenergie — die Ausbeute zurückgeht, um bei der nächsten Treppenstufe wieder zu wachsen.



Wenn ich meinen Radioapparat auf den Sender ‚Berlin' abstimme, so ist nur diese Welle zu hören; alle anderen, ob lauter oder leiser, haben gewissermaßen eine zu geringe Wahrscheinlichkeit, den Abstimmkreis zum Mitschwingen zu bringen und so in den Apparat einzudringen. Auch der Atomkern ist nach der Wellenmechanik auf einige wenige Frequenzen abgestimmt — auf

die, welche seinen Energiewerten entsprechen, seine ‚Eigenschwingungen'. Und das Geschoß selbst entspricht ja einer Welle — nach Schrödinger. Es ist klar, daß gerade die Wellen mit der abgestimmten Frequenz leicht eindringen werden. Wie der Prinz im Märchen in das Schloß eindrang, an dem sich vor ihm ganze Heere vergeblich bemüht hatten, weil er das Zauberwort kannte — so kennt das Geschoß das Zauberwort. Es heißt: Eigenschwingung.

Gamow konnte mit seiner Theorie die Radioaktivität erklären; das ist sozusagen die Umkehrung der Beschießung — ein Versuch, aus dem Vulkan heraus zu gelangen. Die Alpha-Teilchen — Gebilde aus zwei Protonen und zwei Neutronen, wie wir wissen — wären nach der klassischen Mechanik auf ewig gefangen in ihrem Potential-Loch. Erst die Wellenmechanik eröffnet ihnen einen leisen Hoffnungsschimmer, der freilich sehr gering ist, entsprechend der geringen Stärke der Wahrscheinlichkeitswelle jenseits der Schwelle. Aber sie laufen immer wieder und wieder, trillionenmal in der Sekunde gegen den Berg an, und eines Tages gelingt der große Schlag. Das Alpha-Teilchen durchbricht die Mauer, es tritt auf der anderen Seite ins Freie und schießt nun mit großer Geschwindigkeit, mit 10—20000 Kilometer in der Sekunde, in die Welt hinaus, die Wilsonkammer zeichnet seine Bahn.

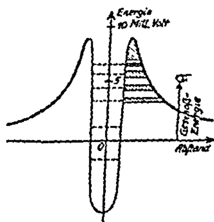
Es mag etwas hart für den Alpha-Strahl sein, von Lord Rutherford für Zertrümmerungsversuche eingespannt zu werden, nachdem er eben seine Freiheit erlangt hat. Entweder er fliegt vorbei — dann war seine Existenz zwecklos, und der Lord ist böse. Oder er trifft auf einen Kern und durchbricht die Potentialschwelle — und dann ist er aufs neue gefangen; meistens lebenslänglich.

Aber gerade diesen zweiten Fall müssen wir ja betrachten, wenn wir unser Problem lösen wollen. Der Alpha-Teil — in Rutherfords Versuch oder das Proton bei Cockroft und Walton — ist in den Krater eingedrungen; aber dort ist man keineswegs erfreut über den Zuwachs. Die Spannung ist so groß, das ganze Kerngebilde befindet sich in einem übererregten, einem ‚angeregten' Zustand.

wie ihr Schatten folgt ihr das körperliche Teilchen, wie wir wissen. Das ist der berühmte „Gamowsche Tunnel-Effekt".

Die Lage ist sogar noch ein wenig günstiger. Es scheint, als wäre das Gestein des Potentialbergs nicht überall gleich hart, als gäbe es in verschiedenen Höhen Stellen größerer und geringerer Durchlässigkeit. Wir müssen bedenken, daß das Geschoß auch im Kern irgendwo bleiben muß, und seit Bohr sind wir vorsichtig. Man muß vermuten, daß auch der Atomkern, wie das Atom als Ganzes, nur in gewissen Energiestufen existieren kann; daß also das eingedrungene Geschoß sich wieder eine Treppenstufe aussuchen muß (vgl. S. 260); es fällt nicht gleich auf den Boden.

Es ist ziemlich verständlich, daß ein kluges Geschoß seinen Tunnel so anlegen wird, daß er genau auf einer solchen Treppenstufe landet. In diesem Fall ist die Wahrscheinlichkeit des Eindringens am größten. Ein schnelleres Geschoß, eins mit größerer Energie, dessen Tunnel höher liegt und nicht auf einer Energiestufe landet, wird dann weniger Chancen haben, eine Zertrümmerung herbeizuführen, als das langsame. Dies scheint reichlich widersinnig, aber Chadwick hat wirklich zeigen können, daß bei Steigerung der Geschwindigkeit — der Geschoßenergie — die Ausbeute zurückgeht, um bei der nächsten Treppenstufe wieder zu wachsen.



Wenn ich meinen Radioapparat auf den Sender ‚Berlin' abstimme, so ist nur diese Welle zu hören; alle anderen, ob lauter oder leiser, haben gewissermaßen eine zu geringe Wahrscheinlichkeit, den Abstimmkreis zum Mitschwingen zu bringen und so in den Apparat einzudringen. Auch der Atomkern ist nach der Wellenmechanik auf einige wenige Frequenzen abgestimmt — auf

die, welche seinen Energiewerten entsprechen, seine ‚Eigenschwingungen'. Und das Geschoß selbst entspricht ja einer Welle — nach Schrödinger. Es ist klar, daß gerade die Wellen mit der abgestimmten Frequenz leicht eindringen werden. Wie der Prinz im Märchen in das Schloß eindrang, an dem sich vor ihm ganze Heere vergeblich bemüht hatten, weil er das Zauberwort kannte — so kennt das Geschoß das Zauberwort. Es heißt: Eigenschwingung.

Gamow konnte mit seiner Theorie die Radioaktivität erklären; das ist sozusagen die Umkehrung der Beschießung — ein Versuch, aus dem Vulkan **heraus** zu gelangen. Die Alpha-Teilchen — Gebilde aus zwei Protonen und zwei Neutronen, wie wir wissen — wären nach der klassischen Mechanik auf ewig gefangen in ihrem Potential-Loch. Erst die Wellenmechanik eröffnet ihnen einen leisen Hoffnungsschimmer, der freilich sehr gering ist, entsprechend der geringen Stärke der Wahrscheinlichkeitswelle jenseits der Schwelle. Aber sie laufen immer wieder und wieder, trillionenmal in der Sekunde gegen den Berg an, und eines Tages gelingt der große Schlag. Das Alpha-Teilchen durchbricht die Mauer, es tritt auf der anderen Seite ins Freie und schießt nun mit großer Geschwindigkeit, mit 10—20000 Kilometer in der Sekunde, in die Welt hinaus; die Wilsonkammer zeichnet seine Bahn.

Es mag etwas hart für den Alpha-Strahl sein, von Lord Rutherford für Zertrümmerungsversuche eingespannt zu werden, nachdem er eben seine Freiheit erlangt hat. Entweder er fliegt vorbei — dann war seine Existenz zwecklos, und der Lord ist böse. Oder er trifft auf einen Kern und durchbricht die Potentialschwelle — und dann ist er aufs neue gefangen; meistens lebenslänglich.

Aber gerade diesen zweiten Fall müssen wir ja betrachten, wenn wir unser Problem lösen wollen. Der Alpha-Teil — in Rutherfords Versuch oder das Proton bei Cockroft und Walton — ist in den Krater eingedrungen; aber dort ist man keineswegs erfreut über den Zuwachs. Die Spannung ist so groß, das ganze Kerngebilde befindet sich in einem übererregten, einem ‚angeregten' Zustand.

Es sind zu viel. Einer muß weichen. Und nach unmerklich kurzer Zeit gibt ein Proton als der Klügere nach, ein Wasserstoff-Strahl wird ausgesandt; da läuft er hin.

Es kann sein, daß der Restkern nun in Ruhe bleibt, daß das hinausgeschleuderte Proton die überflüssige störende Energie mit sich nahm und ein stabiler (beständiger) Kern zurückblieb. Aber es sind auch andere Fälle denkbar. Wir sind schon ziemlich weit vorgedrungen in die „Kernchemie". Ich kann Ihnen noch ein anderes Beispiel anführen, das Cockrofts und Waltons Versuche beschreibt, zugleich ein Beispiel für — ich möchte beinahe sagen: für die Frechheit, mit der wir heute mit Elementen umspringen. Hier steht es:



$$_1H^1 + _3Li^7 \rightarrow _4Be^8 \rightarrow 2\,_2He^4$$

In Worten: Das Geschoß H*), ein Proton hoher Geschwindigkeit, dringt in einen Lithium-Kern vom Gewicht sieben und der Ladung drei ein; einen Augenblick sind alle zusammen, wir haben einen „angeregten" Beryllium-Kern; aber er ist nicht recht beständig, ist unstabil, wie die Physiker sagen, und zerplatzt nach Bruchteilen einer Sekunde — er bricht in zwei Alpha-Teile auseinander, die mit großer Geschwindigkeit nach verschiedenen Richtungen auseinanderfliegen: Aus Wasserstoff und Lithium haben wir Helium gemacht!

Rutherford und Oliphant haben den schweren Wasserstoff — das „Wasserstoff-Isotop" vom Gewicht 2 — mit schwerem Wasserstoff beschossen. Man hat diesem Wasserstoff wegen seiner Bedeutung einen eigenen Namen zugebilligt: Deuterium oder Diplogen — leider sind sich die Gelehrten noch nicht einig. Der schwerere Wasserstoffkern heißt ein „Diplon" und bekommt das Symbol $_1D^2$. Und dann lautet diese Kernreaktion:



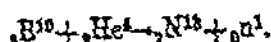
$$_1D^2 + _1D^2 \rightarrow _2He^4 \rightarrow _1H^1 + _1T^3,$$

in Worten: Das Diplongeschoß dringt in ein Diplon ein und bildet einen Heliumkern, der aber sofort weiter zerfällt — in einen

*) Die Zahl oben rechts bedeutet das Gewicht, die Zahl unten links die Kernladung

gewöhnlichen Wasserstoff ‚H' und in einen ‚Triplogen'-Kern, $_1T^3$, einen schwersten ‚Wasserstoff' vom Gewicht 3 (Tafel 7). Die Möglichkeiten scheinen unerschöpflich.

Und noch ein Beispiel: Irène Curie, Marie Curies Tochter, und F. Joliot, ihr Mann, haben es entdeckt. Beschießt man Bor mit einer starken Alpha-Strahlung von Polonium, so entsteht Stickstoff und ein Neutron, nach der Gleichung



$$_5B^{10} + {}_2He^4 \rightarrow {}_7N^{13} + {}_0n^1.$$

Das ist schon etwas Neues: Nicht eines der bekannten natürlich radioaktiven Elemente sendet Neutronen aus. Aber noch mehr. Der Stickstoff, der so entsteht, ist radioaktiv! Es ist ein instabiler Kern, der mit einer Halbwertzeit von vierzehn Minuten zerfällt; und auch für diesen Zerfall hat er noch eine besondere Überraschung vorbereitet: weder α- noch β-Zerfall tritt ein, der ‚Radio-Stickstoff' schießt ein Positron, ein positives Elektron hinaus und verwandelt sich damit in Kohle:



$$_7N^{13} \rightarrow {}_6C^{13} + e^+.$$

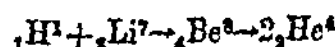
Die Kohle scheint stabil zu sein, nicht weiter zu zerfallen.

Künstliche Radioaktivität! Wenn wir nicht so viel und so überraschend Neues in diesen letzten Jahren erlebt hätten — wir würden diese neue Entdeckung kaum für möglich gehalten haben. Aber es ist schon so — die ganze Physik befindet sich im Umsturz. In einem Jahr entdeckten wir mehr als früher in Jahrzehnten. Curie und Joliot erhielten mit ihrem starken Präparat rund eine Billion Alpha-Teilchen in der Sekunde; und jedes zehnmillionste erzwang eine Zertrümmerung. Hunderttausend Atome des Radiostickstoffs werden so in der Sekunde erzeugt. Zum erstenmal konnten die beiden Forscher den Stickstoff auch chemisch nachweisen und so den letzten Beweis für die Zertrümmerung führen, wenn überhaupt noch einer nötig war."

„Warum zerbricht eigentlich das Geschoß, der Heliumkern, nicht selbst?"

Es sind zu viel. Einer muß weichen. Und nach unmerklich kurzer Zeit gibt ein Proton als der Klügere nach, ein Wasserstoff-Strahl wird ausgesandt; da läuft er hin.

Es kann sein, daß der Restkern nun in Ruhe bleibt, daß das hinausgeschleuderte Proton die überflüssige störende Energie mit sich nahm und ein stabiler (beständiger) Kern zurückblieb. Aber es sind auch andere Fälle denkbar. Wir sind schon ziemlich weit vorgedrungen in die „Kernchemie". Ich kann Ihnen noch ein anderes Beispiel anführen, das Cockrofts und Waltons Versuche beschreibt, zugleich ein Beispiel für — ich möchte beinahe sagen: für die Frechheit, mit der wir heute mit Elementen umspringen. Hier steht es:



$$_1H^1 + _3Li^7 \rightarrow _4Be^8 \rightarrow 2\,_2He^4$$

In Worten: Das Geschoß H*), ein Proton hoher Geschwindigkeit, dringt in einen Lithium-Kern vom Gewicht sieben und der Ladung drei ein; einen Augenblick sind alle zusammen, wir haben einen ‚angeregten' Beryllium-Kern; aber er ist nicht recht beständig, ist unstabil, wie die Physiker sagen, und zerplatzt nach Bruchteilen einer Sekunde — er bricht in zwei Alpha-Teile auseinander, die mit großer Geschwindigkeit nach verschiedenen Richtungen auseinanderfliegen: Aus Wasserstoff und Lithium haben wir Helium gemacht!

Rutherford und Oliphant haben den schweren Wasserstoff — das ‚Wasserstoff-Isotop' vom Gewicht 2 — mit schwerem Wasserstoff beschossen. Man hat diesem Wasserstoff wegen seiner Bedeutung einen eigenen Namen zugebilligt: Deuterium oder Diplogen — leider sind sich die Gelehrten noch nicht einig. Der schwerere Wasserstoffkern heißt ein ‚Diplon' und bekommt das Symbol $_1D^2$. Und dann lautet diese Kernreaktion:



$$_1D^2 + _1D^2 \rightarrow _2He^4 \rightarrow _1H^1 + _1T^3,$$

in Worten: Das Diplongeschoß dringt in ein Diplon ein und bildet einen Heliumkern, der aber sofort weiter zerfällt — in einen

*) Die Zahl oben rechts bedeutet das Gewicht, die Zahl unten links die Kernladung.

härtesten Radium-Gamma-Strahlen. Noch wissen wir nicht, welcher Naturvorgang die Energie für eine solche Strahlung hergeben könnte; aber die Hypothese ist gemacht worden, daß dort am nächtlichen Himmel in ungeheuren Fernen die Masse „zerstrahlt", daß sie sich in Energie umwandelt und so die Höhenstrahlen erzeugt. Eine Hypothese, die zumindest noch nicht widerlegt ist.

Wir brauchen nicht bis in den Weltraum zu wandern — hier vor uns, in dieser Wilsonkammer, geschieht genau dasselbe! Auch hier, bei unseren Zertrümmerungsversuchen, verwandelt sich ein Bruchteil der Masse in Energie — verschwindet scheinbar und findet sich wieder in der rasenden Flucht der Alpha-Teilchen durch die Nebelkammer. Zehntausend Kilometer in der Sekunde — bedenken Sie, was das heißt! Die Energie meiner Thorium-C-Alpha-Strahlen entspricht 2,6 Millionen Volt!"

Ich schaute mich etwas unsicher um. Ich sah nichts von gewaltigen, krachenden Stoßkondensatoren, keine meterlangen Funken, keine gepanzerten und geschützten Beobachtungsstände. Klein, handlich, unscheinbar sah die eigentliche Zertrümmerungskammer aus. Da in dem kleinen Metallzylinder gingen Welten zugrunde, verwandelten sich Atome, verschwand die Materie ...

„Es ist immer wieder erstaunlich", sagte ich, wie rasch sich der Mensch mit dem Unerhörtesten abfindet. Da schreien die Menschen von Atomzertrümmerung, da werden flammende Bilder gezeichnet und beschrieben, und wir malen uns in immer großartigeren Ausmaßen aus, wie die Menschheit einmal dies Wunder fassen wird. Und unterdessen sitzen Sie hier in Ihrem Laboratorium und ein paar Dutzend oder Hundert andere Forscher in allen Teilen der Welt, und zertrümmern in aller Stille Millionen und Milliarden von Atomen — nicht anders, mit derselben Selbstverständlichkeit, als würden Sie *ein Elektrometer ablesen!*

„Gewiß", antwortete der Gelehrte. „Aber das ist noch nicht alles. Wir haben in der letzten Zeit einen Weg entdeckt, den Potentialberg gewissermaßen abzutragen. Er kam ja nur zustande — Sie

„Das erklärt die Relativitätstheorie. Sie wissen doch noch, daß Masse und Energie dasselbe bedeuten, daß Masse nur ‚Energie auf Sperrkonto' ist? Nun, ein Heliumkern besteht aus zwei Protonen und zwei Neutronen. Ganz geht die Rechnung freilich nicht auf — die vier zusammen wiegen mehr als der Heliumkern; in der gebräuchlichen Einheit hat das Proton das Gewicht 1.008, das Neutron 1.008, die Summe ist 4.032; und das Helium wiegt bloß 4.000. Aber gerade diese Unstimmigkeit wird nun ein Grund zum Jubel. Denn die Protonen und Neutronen im Heliumkern waren unvorsichtig — sie haben ihr fest angelegtes Massenkapital zum Teil flüssig gemacht und — als Energiestrahlung ausgegeben. Nun fehlt es ihnen — nun sind sie für immer gefangen. Man müßte von außen, durch eine hochherzige Spende, diesen verjubelten Energiebetrag von 0.032 zur Verfügung stellen — dann könnte man sie freikaufen, dann würden sie mit ihrer richtigen Masse, ihrem ordentlichen festen Kapital sich wieder in der Welt sehen lassen können. Solange ihnen kein Mensch die nötige Energie schenkt, müssen sie zusammenbleiben. Der ‚Massendefekt' ist der Grund, warum die Heliumkerne so dauerhaft sind und sich so gut zu Geschossen eignen. Könnte man umgekehrt auf irgendeine Weise zwei Protonen und zwei Neutronen zur beständigen Vereinigung zwingen, so erhielte man eben diesen ‚Massendefekt' als Energie heraus. Aber Sie sehen ja — die künstlichen Heliumkerne, die Rutherford und Oliphant erzeugten (S. 322), zerfallen gleich wieder. So einfach ist die Sache nicht.

Aus den Tiefen der Sternenwelt kommt eine geheimnisvolle Strahlung zu uns, die Höhenstrahlung, die von Heß und Kolhörster entdeckt wurde. Sie stellt die energiereichste Strahlung dar, die wir kennen. Noch auf dem Grund des Bodensees — 250 m tief — hat sie Regener nachweisen können. Sie ist so energisch, daß sie tatsächlich bloß aufgezeichnet werden kann; wirkliche Auskünfte über ihr Wesen besitzen wir noch nicht — unsere irdischen Hilfsmittel sind zu gering. Ihre Wellenlänge ist noch kürzer als die der

ärtesten Radium-Gamma-Strahlen. Noch wissen wir nicht, welcher Naturvorgang die Energie für eine solche Strahlung hergeben könnte; aber die Hypothese ist gemacht worden, daß dort am nächtlichen Himmel in ungeheuren Fernen die Masse ‚zerstrahlt', daß sie sich in Energie umwandelt und so die Höhenstrahlen erzeugt. Eine Hypothese, die zumindest noch nicht widerlegt ist.

Wir brauchen nicht bis in den Weltraum zu wandern — hier vor uns, in dieser Wilsonkammer, geschieht genau dasselbe! Auch hier, bei unseren Zertrümmerungsversuchen, verwandelt sich ein Bruchteil der Masse in Energie — verschwindet scheinbar und findet sich wieder in der rasenden Flucht der Alpha-Teilchen durch die Nebelkammer. Zehntausend Kilometer in der Sekunde — bedenken Sie, was das heißt! Die Energie meiner Thorium-C-Alpha-Strahlen entspricht 2,6 Millionen Volt!"

Ich schaute mich etwas unsicher um. Ich sah nichts von gewaltigen, krachenden Stoßkondensatoren, keine meterlangen Funken, keine gepanzerten und geschützten Beobachtungsstände. Klein, handlich, unscheinbar sah die eigentliche Zertrümmerungskammer aus. Da in dem kleinen Metallzylinder gingen Welten zugrunde, verwandelten sich Atome, verschwand die Materie . . .

„Es ist immer wieder erstaunlich", sagte ich, wie rasch sich der Mensch mit dem Unerhörtesten abfindet. Da schreien die Menschen von Atomzertrümmerung, da werden flammende Bilder gezeichnet und beschrieben, und wir malen uns in immer großartigeren Ausmaßen aus, wie die Menschheit einmal dies Wunder fassen wird. Und unterdessen sitzen Sie hier in Ihrem Laboratorium und ein paar Dutzend oder Hundert andere Forscher in allen Teilen der Welt, und zertrümmern in aller Stille Millionen und Milliarden von Atomen — nicht anders, mit derselben Selbstverständlichkeit, als würden Sie ein Elektrometer ablesen!

„Gewiß", antwortete der Gelehrte. „Aber das ist noch nicht alles. Wir haben in der letzten Zeit einen Weg entdeckt, den Potentialberg gewissermaßen abzutragen. Er kam ja nur zustande — Sie

„Das erklärt die Relativitätstheorie. Sie wissen doch noch, daß Masse und Energie dasselbe bedeuten, daß Masse nur ‚Energie auf Sperrkonto' ist? Nun, ein Heliumkern besteht aus zwei Protonen und zwei Neutronen. Ganz geht die Rechnung freilich nicht auf — die vier zusammen wiegen mehr als der Heliumkern; in der gebräuchlichen Einheit hat das Proton das Gewicht 1.008, das Neutron 1.008, die Summe ist 4.032; und das Helium wiegt bloß 4.000. Aber gerade diese Unstimmigkeit wird nun ein Grund zum Jubel. Denn die Protonen und Neutronen im Heliumkern waren unvorsichtig — sie haben ihr fest angelegtes Massenkapital zum Teil flüssig gemacht und — als Energiestrahlung ausgegeben. Nun fehlt es ihnen — nun sind sie für immer gefangen. Man müßte von außen, durch eine hochherzige Spende, diesen verjubelten Energiebetrag von 0.032 zur Verfügung stellen — dann könnte man sie freikaufen, dann würden sie mit ihrer richtigen Masse, ihrem ordentlichen festen Kapital sich wieder in der Welt sehen lassen können. Solange ihnen kein Mensch die nötige Energie schenkt, müssen sie zusammenbleiben. Der ‚Massendefekt' ist der Grund, warum die Heliumkerne so dauerhaft sind und sich so gut zu Geschossen eignen. Könnte man umgekehrt auf irgendeine Weise zwei Protonen und zwei Neutronen zur beständigen Vereinigung zwingen, so erhielte man eben diesen ‚Massendefekt' als Energie heraus. Aber Sie sehen ja — die künstlichen Heliumkerne, die Rutherford und Oliphant erzeugten (S. 322), zerfallen gleich wieder. So einfach ist die Sache nicht.

Aus den Tiefen der Sternenwelt kommt eine geheimnisvolle Strahlung zu uns, die Höhenstrahlung, die von Heß und Kolhörster entdeckt wurde. Sie stellt die energiereichste Strahlung dar, die wir kennen. Noch auf dem Grund des Bodensees — 250 m tief — hat sie Regener nachweisen können. Sie ist so energisch, daß sie tatsächlich bloß aufgezeichnet werden kann; wirkliche Auskünfte über ihr Wesen besitzen wir noch nicht — unsere irdischen Hilfsmittel sind zu gering. Ihre Wellenlänge ist noch kürzer als die der

härtesten Radium-Gamma-Strahlen. Noch wissen wir nicht, welcher Naturvorgang die Energie für eine solche Strahlung hergeben könnte; aber die Hypothese ist gemacht worden, daß dort am nächtlichen Himmel in ungeheuren Fernen die Masse ‚zerstrahlt', daß sie sich in Energie umwandelt und so die Höhenstrahlen erzeugt. Eine Hypothese, die zumindest noch nicht widerlegt ist.

Wir brauchen nicht bis in den Weltraum zu wandern — hier vor uns, in dieser Wilsonkammer, geschieht genau dasselbe! Auch hier, bei unseren Zertrümmerungsversuchen, verwandelt sich ein Bruchteil der Masse in Energie — verschwindet scheinbar und findet sich wieder in der rasenden Flucht der Alpha-Teilchen durch die Nebelkammer. Zehntausend Kilometer in der Sekunde — bedenken Sie, was das heißt! Die Energie meiner Thorium-C-Alpha-Strahlen entspricht 2,6 Millionen Volt!"

Ich schaute mich etwas unsicher um. Ich sah nichts von gewaltigen, krachenden Stoßkondensatoren, keine meterlangen Funken, keine gepanzerten und geschützten Beobachtungsstände. Klein, handlich, unscheinbar sah die eigentliche Zertrümmerungskammer aus. Da in dem kleinen Metallzylinder gingen Welten zugrunde, verwandelten sich Atome, verschwand die Materie . . .

„Es ist immer wieder erstaunlich", sagte ich, wie rasch sich der Mensch mit dem Unerhörtesten abfindet. Da schreien die Menschen von Atomzertrümmerung, da werden flammende Bilder gezeichnet und beschrieben, und wir malen uns in immer großartigeren Ausmaßen aus, wie die Menschheit einmal dies Wunder fassen wird. Und unterdessen sitzen Sie hier in Ihrem Laboratorium und ein paar Dutzend oder Hundert andere Forscher in allen Teilen der Welt, und zertrümmern in aller Stille Millionen und Milliarden von Atomen — nicht anders, mit derselben Selbstverständlichkeit, als würden Sie ein Elektrometer ablesen!

„Gewiß", antwortete der Gelehrte. „Aber das ist noch nicht alles. Wir haben in der letzten Zeit einen Weg entdeckt, den Potentialberg gewissermaßen abzutragen. Er kam ja nur zustande — Sie

erinnern sich — durch die Abstoßung zwischen dem positiven Kern und dem positiven Geschoß. Aber wenn ich ein elektrisch neutrales Geschoß, ein Neutron, verwende, so gibt es keine Abstoßung. Ein Neutron wird nicht gehindert — es ignoriert die Gefahr und überwindet sie auf diese Weise. Vom ganzen Potentialberg bleibt für das Neutron bloß das Loch übrig — es braucht sich keinen Tunnel zu graben.

Fermi hat als erster diese Möglichkeit ausgenutzt — dabei ist Fermi eigentlich kein Experimentator. Lord Rutherford hat gesagt, daß ‚Fermi, ein Theoretiker reinsten Wassers, sich spontan in einen Experimentator umgewandelt hat'. Im Gebiet der radioaktiven Umwandlungen ist eben alles möglich. Mit einem starken Neutronen-Bombardement haben Fermi und seine Mitarbeiter über 40 Elemente zertrümmern können, und was seinen Versuchen die sensationelle Note gab, war die Tatsache, daß auch Uran unter diesen war. Uran hat das Atomgewicht 92 — es ist das letzte Element im periodischen System. Es verschluckt bei der Beschießung das Neutron und zerfällt darauf unter Aussendung von einem negativen Elektron — es wandelt sich in ein Element 93 um!

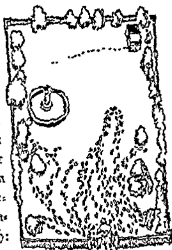
Die Versuche sind vielleicht noch nicht restlos gesichert — aber sie scheinen doch Vertrauen zu verdienen. Wenn sie wirklich zutreffen, dann hat Fermi zum erstenmal ein Element hergestellt, das in der Natur bis jetzt noch nicht gefunden wurde, das vielleicht überhaupt nicht frei existiert. Die Physiker scheinen die Schöpfung verbessern zu wollen."

Nun konnte ich bloß noch den Kopf schütteln.

„Aber ich wollte noch etwas anderes fragen: es betrifft das Neutron. Wie kann man es überhaupt entdecken und feststellen, wenn es sich nicht durch eine elektrische Ladung und durch seine ionisierende Wirkung in der Nebelkammer verraten kann?"

„Ja, das Neutron — das ist eine ganze Detektivgeschichte. Der Held ist Chadwick, ein Schüler Rutherfords. Und es trug sich so zu:

Chadwick hatte in seinem Garten, gleich am Eingangstor, eine große Reihe Fußspuren entdeckt. Das war in Ordnung — es waren seine Gäste, die er selbst eingeladen hatte. Sie hatten sich im Garten verstreut; aber sie waren nicht viel über die Hälfte hinausgekommen. Plötzlich fand er drüben, ganz am anderen Ende, eine einzelne feine Fußspur, die von einem Hund aus dem Hundezwinger herrührte. Wer in aller Welt hatte den Hund freigelassen? Es konnte keiner von seinen Gästen gewesen sein — dann hätte sich seine Spur bis dahin verfolgen lassen müssen. Und der Garten war doch von hohen, unübersteigbaren Mauern umgeben. Chadwick stand vor einem Rätsel. Wie war der Mann quer durch den Garten zum Hundezwinger gelangt? Es mußte ein Unsichtbarer gewesen sein — mehr noch: ein Wesen, das keine Spuren hinterließ. Der große Unbekannte in Reinkultur. Ein Wesen, das keine Spuren hinterließ? Kopfschüttelnd ging Chadwick ins Haus. Diese Hypothese schien ihm sehr gewagt ...



Die Wilsonkammer-Aufnahme (Tafel 8) zeigte aber dies: eine Reihe normaler Fußspuren von Alpha-Teilen. Und dann, ganz am anderen Ende beginnend, eine feine Wasserstoff-Bahn, ein befreites Proton. Und nicht ein einziges Alpha-Teilchen, das, durch seine Spur kenntlich, das Proton befreit haben könnte. Chadwick setzte seine Pfeife in Brand, zog die Mütze in die Stirn und begann scharf nachzudenken. Dieser große Unbekannte mußte erhebliche Kräfte haben, um den schweren Zwinger zu öffnen — den Wasserstoff-Kern herauszuschießen. Er mußte also schnell bewegt sein. Trotzdem hinterließ er keine Spuren — er ionisierte die Luft also nicht. Aber jede schnell bewegte Ladung ionisiert die Luft. Also war

erinnern sich — durch die Abstoßung zwischen dem positiven Kern und dem positiven Geschoß. Aber wenn ich ein elektrisch neutrales Geschoß, ein Neutron, verwende, so gibt es keine Abstoßung. Ein Neutron wird nicht gehindert — es ignoriert die Gefahr und überwindet sie auf diese Weise. Vom ganzen Potentialberg bleibt für das Neutron bloß das Loch übrig — es braucht sich keinen Tunnel zu graben.

Fermi hat als erster diese Möglichkeit ausgenutzt — dabei ist Fermi eigentlich kein Experimentator. Lord Rutherford hat gesagt, daß ‚Fermi, ein Theoretiker reinsten Wassers, sich spontan in einen Experimentator umgewandelt hat'. Im Gebiet der radioaktiven Umwandlungen ist eben alles möglich. Mit einem starken Neutronen-Bombardement haben Fermi und seine Mitarbeiter über 40 Elemente zertrümmern können, und was seinen Versuchen die sensationelle Note gab, war die Tatsache, daß auch Uran unter diesen war. Uran hat das Atomgewicht 92 — es ist das letzte Element im periodischen System. Es verschluckt bei der Beschießung das Neutron und zerfällt darauf unter Aussendung von einem negativen Elektron — es wandelt sich in ein Element 93 um!

Die Versuche sind vielleicht noch nicht restlos gesichert — aber sie scheinen doch Vertrauen zu verdienen. Wenn sie wirklich zutreffen, dann hat Fermi zum erstenmal ein Element hergestellt, das in der Natur bis jetzt noch nicht gefunden wurde, das vielleicht überhaupt nicht frei existiert. Die Physiker scheinen die Schöpfung verbessern zu wollen."

Nun konnte ich bloß noch den Kopf schütteln.

„Aber ich wollte noch etwas anderes fragen: es betrifft das Neutron. Wie kann man es überhaupt entdecken und feststellen, wenn es sich nicht durch eine elektrische Ladung und durch seine ionisierende Wirkung in der Nebelkammer verraten kann?"

„Ja, das Neutron — das ist eine ganze Detektivgeschichte. Der Held ist Chadwick, ein Schüler Rutherfords. Und es trug sich so zu:

sie haben ja alle ein gewisses Gewicht, und da nach Einstein Energie und Masse dasselbe sind, so hat jedes einzelne Elektron zumindest immer seine ‚Massenenergie': rund ein Millionteł ‚Erg'. (Das Erg ist die Einheit der Energie.) Was ein gewöhnliches Elektron auch anstellt, niemals kann seine Energie unter diesen Betrag herabsinken; ja, meistens wird sie größer sein, weil sich das Elektron bewegt und seine Bewegungsenergie zu der Massenenergie hinzukommt.

Aber meine Theorie — aus der sich übrigens, und das spricht sehr für sie, ganz zwanglos der ‚Spin', die Kreiselbewegung des Elektrons ergibt — meine Theorie verlangt aus Symmetriegründen auch Elektronen mit **negativer Energie**. Negative Energie, wohlverstanden — verwechseln Sie es nicht mit negativer elektrischer Ladung. Schade, daß ich Ihnen kein solches Elektron vorführen kann. Ein Elektron mit negativer Energie ist eine sonderbare Sache, mehr als sonderbar. Wenn ich ein gewöhnliches Elektron von hinten stoße, so läuft es schneller. Das Elektron mit negativer Energie wird dann langsamer; es bremst um so störrischer, je mehr ich stoße!, und es läuft davon, wenn ich es heranziehen will. Gamow hat vorgeschlagen, solche Elektronen wegen der ‚analogen Eigenschaften der bekannten Tierart ‚Eselselektronen' zu nennen'.

Sie werden einwenden, daß so etwas absurd ist und noch nie in der Natur beobachtet wurde. Ich habe meiner Theorie dennoch den Gefallen getan. Ich habe eine gewisse Anzahl Plätze für diese Elektronen zur Verfügung gestellt. Aber ich habe ein übriges getan. Ich habe angenommen, daß mein ganzes Parkett negativer Energie bereits besetzt ist. Es ist ein Parkett im Keller unter dem gewöhnlichen Theater. Auf jedem Stuhl hockt ein negatives Elektron mit negativer Energie; das ganze Parkett ist eine dichte, graue, einförmige Masse. Und da wir nur **Unterschiede** sehen und begreifen können, da wir, wo alles gleich ist, ebensogut sagen können ‚nichts ist da' — so merken wir für gewöhnlich nichts von

es keine Ladung — es war ein elektrisch neutrales Teilchen. Dies war die einzige Erklärung: Ein Neutron existierte. Seine Masse — Chadwick konnte sie ziemlich genau abschätzen — war beinahe gleich der des Protons. Es gibt ein schweres Teilchen vom Gewicht des Protons, aber ohne Ladung, sagte Chadwick entschlossen und klopfte die Pfeife wieder aus.

Erst schüttelten die Physiker die Köpfe. Dann stürzten sie sich mit Feuereifer auf die neue Entdeckung. Sie wurde erst selig, dann heilig gesprochen. Für physikalisch möglich erklärt, obwohl sie die festgefügte Vorstellung über den Haufen warf, daß es außer Proton und Elektron nichts weiter gäbe. Und physikalisch ungeheuer nützlich — eine wunderbare Stütze für die Kerntheorie, die nun auf Elektronen im Atomkern — schon immer eine etwas unangenehme Hypothese! — verzichten konnte. Sie hatte im Neutron ein ideales Mittel, das Gewicht eines Kerns beliebig zu erhöhen, ohne seine Ladung gleichzeitig zu vergrößern. Den Physikern war für ihren Flug in die Theorie von Chadwick auf einmal der ausgleichende Sandsack-Ballast zur Verfügung gestellt worden. Sie griffen mit beiden Händen zu. Aber das Neutron, das man allenfalls z. B. durch sehr enge Anlegung eines Protons und eines Elektrons, durch ein Zusammenfließen der beiden, erklären kann, war nicht das Schlimmste. Im selben Jahr entdeckte Anderson in Chikago ein Gespenst.

Weiß Gott, Anderson hatte einen Geist gesehen, er hatte ihn sogar fotografiert. Ein leichtes Teilchen in der Wilson-Kammer, das nach Aussehen, Bahnkrümmung und Masse völlig dem Elektron glich — aber positiv geladen war. Ein positives Elektron, ein Positron. Dies schien damals der Gipfelpunkt des Wahnsinns — aber es gab einen Menschen, der nur darauf gewartet hatte. Dirac in Cambridge. „Hurra!", rief er. „Endlich! Meine Theorie hat seit Jahren auf das Positron gewartet." Und dann folgt Diracs Geschichte vom Loch in der Welt. „Es gibt viele Elektronen in der Welt", begann er. „Sie haben alle eine gewisse positive Energie;

sie haben ja alle ein gewisses Gewicht, und da nach Einstein Energie und Masse dasselbe sind, so hat jedes einzelne Elektron zumindest immer seine ‚Massenenergie': rund ein Millionstel ‚Erg'. (Das Erg ist die Einheit der Energie.) Was ein gewöhnliches Elektron auch anstellt, niemals kann seine Energie unter diesen Betrag herabsinken; ja, meistens wird sie größer sein, weil sich das Elektron bewegt und seine Bewegungsenergie zu der Massenenergie hinzukommt.

Aber meine Theorie — aus der sich übrigens, und das spricht sehr für sie, ganz zwanglos der ‚Spin', die Kreiselbewegung des Elektrons ergibt — meine Theorie verlangt aus Symmetriegründen auch Elektronen mit negativer Energie. Negative Energie, wohlverstanden — verwechseln Sie es nicht mit negativer elektrischer Ladung. Schade, daß ich Ihnen *kein solches* Elektron vorführen kann. Ein Elektron mit negativer Energie ist eine sonderbare Sache, mehr als sonderbar. Wenn ich ein gewöhnliches Elektron von hinten stoße, so läuft es schneller. Das Elektron mit negativer Energie wird dann langsamer; es bremst um so störrischer, je mehr ich stoße!, und es läuft davon, wenn ich es heranziehen will. Gamow hat vorgeschlagen, solche Elektronen wegen der ‚analogen Eigenschaften der bekannten Tierart ‚Eselselektronen' zu nennen'.

Sie werden einwenden, daß so etwas absurd ist und noch nie in der Natur beobachtet wurde. Ich habe meiner Theorie dennoch den Gefallen getan. Ich habe eine gewisse Anzahl Plätze für diese Elektronen zur Verfügung gestellt. Aber ich habe ein übriges *getan.* Ich habe angenommen, daß mein ganzes Parkett negativer Energie bereits besetzt ist. Es ist ein Parkett im Keller unter dem gewöhnlichen Theater. Auf jedem Stuhl hockt ein negatives Elektron mit negativer Energie; das ganze Parkett ist eine dichte, graue, einförmige Masse. Und da wir nur Unterschiede sehen und begreifen können, da wir, wo alles *gleich* ist, ebensogut sagen können ‚nichts ist da' — so merken wir für gewöhnlich nichts von

es keine Ladung — es war ein elektrisch neutrales Teilchen. Dies war die einzige Erklärung: Ein Neutron existierte. Seine Masse — Chadwick konnte sie ziemlich genau abschätzen — war beinahe gleich der des Protons. Es gibt ein schweres Teilchen vom Gewicht des Protons, aber ohne Ladung, sagte Chadwick entschlossen und klopfte die Pfeife wieder aus.

Erst schüttelten die Physiker die Köpfe. Dann stürzten sie sich mit Feuereifer auf die neue Entdeckung. Sie wurde erst selig, dann heilig gesprochen. Für physikalisch möglich erklärt, obwohl sie die festgefügte Vorstellung über den Haufen warf, daß es außer Proton und Elektron nichts weiter gäbe. Und physikalisch ungeheuer nützlich — eine wunderbare Stütze für die Kerntheorie, die nun auf Elektronen im Atomkern — schon immer eine etwas unangenehme Hypothese! — verzichten konnte. Sie hatte im Neutron ein ideales Mittel, das Gewicht eines Kerns beliebig zu erhöhen, ohne seine Ladung gleichzeitig zu vergrößern. Den Physikern war für ihren Flug in die Theorie von Chadwick auf einmal der ausgleichende Sandsack-Ballast zur Verfügung gestellt worden. Sie griffen mit beiden Händen zu. Aber das Neutron, das man allenfalls z. B. durch sehr enge Anlegung eines Protons und eines Elektrons, durch ein Zusammenfließen der beiden, erklären kann, war nicht das Schlimmste. Im selben Jahr entdeckte Anderson in Chikago ein Gespenst.

Weiß Gott, Anderson hatte einen Geist gesehen, er hatte ihn sogar fotografiert. Ein leichtes Teilchen in der Wilson-Kammer, das nach Aussehen, Bahnkrümmung und Masse völlig dem Elektron glich — aber positiv geladen war. Ein positives Elektron, ein Positron. Dies schien damals der Gipfelpunkt des Wahnsinns — aber es gab einen Menschen, der nur darauf gewartet hatte. Dirac in Cambridge. „Hurra!“, rief er. „Endlich! Meine Theorie hat seit Jahren auf das Positron gewartet.“ Und dann folgt Diracs Geschichte vom Loch in der Welt. „Es gibt viele Elektronen in der Welt“, begann er. „Sie haben alle eine gewisse positive Energie;

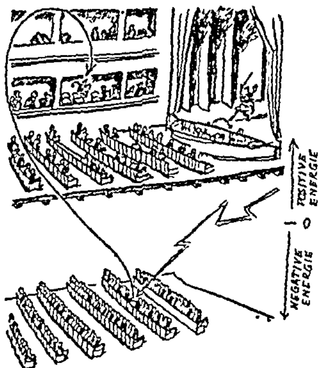
zuerst setzte sich der rechte Nachbar nach links. War das Loch nun weg? Nein — denn nun war der andere Stuhl frei geworden: das Loch war scheinbar eins nach rechts gerückt. So ging es weiter. Ein Zuschauer, der fünf Plätze entfernt saß, sprang auf den freien Stuhl — aber nun war die Lücke ihrerseits um fünf Plätze gesprungen. Das Loch war nicht aus der Welt zu schaffen, es fuhr auf dem Keller-Parkett hin und her. Aber es führte immer die Gegenbewegung der Menschen aus. Es benahm sich ganz so wie ein Mensch mit umgekehrtem Vorzeichen. Das Loch in dem Elektronenreich wirkt nach außen genau wie ein Elektron mit umgekehrtem Vorzeichen — wie ein positives Elektron.

Noch einmal gesagt: Für gewöhnlich merken wir nichts von dem Elektronenreich negativer Energie, weil alles besetzt ist. Der Blitz schlägt ein und befördert ein Elektron aus dem versenkten Parkett nach „oben". Dort können wir es jetzt beobachten, als normales, negativ geladenes Elektron. Zudem aber entsteht die Lücke — und auch sie ist beobachtbar, weil sie eine Unterbrechung, einen Unterschied im gleichförmigen Parkett bedeutet. Sie benimmt sich, wie gesagt, genau wie ein positiv geladenes Elektron, wir nennen sie — ein Positron.

So läuft diese Lücke in der Welt umher — so lange, bis „von oben" ein zusätzlicher Mensch hineinspringt. Dann wird unten wieder graue Ruhe herrschen Als Äquivalent, damit nichts verlorengeht, wird der auslösende Blitz neu entstehen. Es entsteht Strahlung, aber dafür verschwinden aus der Welt des Beobachtbaren — der Mensch und die Lücke, das negative und das positive Elektron. In dürren Worten: Es ist möglich, daß ein Schwingungsquant beim Auftreffen auf einen Kern ein positives und ein negatives Elektron erzeugt, ein Elektronenpaar. Die dazu notwendige Energie beträgt 1 Million Volt. Auch der umgekehrte Prozeß scheint vorzukommen, daß ein negatives und ein positives Elektron sich vereinigen, zusammenfließen und verschwinden, und daß dafür ein Strahlungsquant erzeugt wird. Dies ist Diracs Theorie."

diesem versenkten Parkett tief unter uns. Aber — es können Katastrophen eintreten. Ein Blitz kann in das Parkett einschlagen und einen der grauen, gleichförmigen Zuschauer hinausschleudern. Zurück bleibt eine Lücke — ein freier Platz. Ein Loch.

Zwei Bedingungen freilich müßten vorliegen. Der Blitz müßte Energie genug besitzen, nicht nur bis ins versenkte Parkett zu dringen, sondern auch das graue Männlein bis nach oben, in unser



gewöhnliches Parkett oder die Ränge zu schleudern — denn irgendwo muß es schließlich bleiben. Und der Blitz müßte ein Gegengewicht vorfinden, etwas, was seinen Impuls aufhebt. Beides hatte Anderson zur Verfügung. Einen energischen Blitz, ein Höhenstrahlquant. Und ein Gegengewicht, einen schweren Kern. Der Blitz schlug ein — zurück also blieb die Lücke.

Es läßt sich denken, daß die Zuschauer im Keller nicht ruhig blieben. Jeder wollte einmal auf dem leeren Stuhl sitzen. Und

hammer des Grobschmiedes gerecht wird. Heisenberg prägte das Wort von dem ‚prinzipiellen Verzicht auf Anschaulichkeit', der notwendig sein wird.

In der Heisenbergschen Unschärfebeziehung schien die Natur sich mit großer List ein Mittel geschaffen zu haben, alle Beobachtungen jenseits einer gewissen Grenze unmöglich zu machen; alle unsere noch so klugen Fragen unbeantwortet zu lassen. Auch der Michelson-Versuch war so etwas gewesen — auch dort schien die Natur mit großer Tücke jede Spur verwischt zu haben, die eine absolute Bewegung verraten könnte. Aber die Natur ist wohl nicht so bösartig, wie es scheinen mag; wir sind ihr wahrscheinlich nur gleichgültig. Und all ihre vermeintliche List erscheint nur dann, wenn wir nach etwas fragen, was es nicht gibt. Hieraus entwickelte Heisenberg seine Theorie: Es gibt keine Anschauung im Inneren des Atoms.

Man kann versuchen, die Welt der Atome anschaulich zu behandeln als Gebilde in Raum und Zeit, wie wir es gewohnt sind, mit Ort und Bahn und Geschwindigkeit: des Elektrons Aber dann beginnt sogleich die Wirkung der Unschärfebeziehung, wir *müssen auf strenge Kausalität verzichten* — eben weil das Elektron selbst nicht zu wissen scheint was es will — und uns mit Wahrscheinlichkeitsaussagen begnügen.

Oder aber wir fordern strenge Kausalität; die Quantenmechanik ist bereit dazu — das Schicksal ihrer mathematischen Symbole weist keinerlei Unbestimmtheit auf. Aber dafür müssen wir die Anschaulichkeit opfern, die Darstellung in Raum und Zeit. Heisenberg fand für diesen Sachverhalt ein kurzes Schema:

Klassische Physik	Quanten-Mechanik		
Anschaulichkeit (Raum und Zeit)	entweder Anschaulich	Statistische Zusammenhänge	oder Unanschaulich (Mathem. Schema)
Kausalität	Unschärfebeziehung		Kausalität

„Sie klingt gespenstisch, nicht wahr? Sehr geheimnisvoll."

„Ja, vielleicht; aber sie ist seit Andersons Beobachtung keine Theorie mehr. Ich habe hier ein Bild, auf dem Sie sehen, wie wirklich auf einmal, *aus dem Nichts*, das Höhestrahlquant ein Elektron und ein Positron — eine Lücke — neu erzeugt, und wie sie nun beide, wegen ihrer verschiedenen Ladung durch das Magnetfeld nach verschiedenen Richtungen gekrümmt, mit großer Energie davonlaufen (Tafel 8).

Das neue Weltbild

Wir denken etwas anders über die Materie, über ihre ‚Wirklichkeit', als ihr da draußen! Ich sehe keine Schwierigkeit bei dem Gedanken, daß Energie verschwinden und Masse auftreten soll — oder daß sich die Masse in Energie auflöst. Gerade Diracs Vorgehen ist bezeichnend für die moderne Physik, für den grundlegenden Wandel unserer Denkart. Vor 1900 etwa hätte sich kein Physiker im Traum einfallen lassen, an negative Energie auch nur zu denken; genau so gut hätte er von einem ‚negativen Abstand' sprechen können: ‚Die Entfernung zwischen den beiden Bäumen dort beträgt minus vier Meter!' Eine Theorie mit solchen Resultaten wäre eben kurzerhand als falsch bezeichnet worden.

Heute sind wir vorsichtiger. Wir wissen, daß die klassische Physik bei den Versuchen gescheitert ist, die Mikrowelt der Atome in unser grobes alltägliches Schema einzuzwängen, sie in Begriffe wie Entfernung, Ort, Geschwindigkeit einzupassen, kurz, sie anschaulich zu begreifen. Bohrs Atommodell war der letzte tapfere Angriff, und Sie haben gesehen, wie er ganz unverständliche Zusatzforderungen erheben mußte. Um 1925 brach die Erfahrung durch, daß es unmöglich ist. Man wird dem Atom nicht mit Begriffsbildungen gerecht, die unserer Erfahrungswelt entlehnt sind, so wenig, wie man einer Uhrmacherarbeit mit Meißel und Vorschlag-

hammer des Grobschmiedes gerecht wird. Heisenberg prägte das Wort von dem ‚prinzipiellen Verzicht auf Anschaulichkeit', der notwendig sein wird.

In der Heisenbergschen Unschärfebeziehung schien die Natur sich mit großer List ein Mittel geschaffen zu haben, alle Beobachtungen jenseits einer gewissen Grenze unmöglich zu machen; alle unsere noch so klugen Fragen unbeantwortet zu lassen. Auch der Michelson-Versuch war so etwas gewesen — auch dort schien die Natur mit großer Tücke jede Spur verwischt zu haben, die eine absolute Bewegung verraten könnte. Aber die Natur ist wohl nicht so bösartig, wie es scheinen mag; wir sind ihr wahrscheinlich nur gleichgültig. Und all ihre vermeintliche List erscheint nur dann, wenn wir nach etwas fragen, was es nicht gibt. Hieraus entwickelte Heisenberg seine Theorie: Es gibt keine Anschauung im Inneren des Atoms.

Man kann versuchen, die Welt der Atome anschaulich zu behandeln als Gebilde in Raum und Zeit, wie wir es gewohnt sind, mit Ort und Bahn und Geschwindigkeit des Elektrons. Aber dann beginnt sogleich die Wirkung der Unschärfebeziehung, wir müssen auf strenge Kausalität verzichten — eben weil das Elektron selbst nicht zu wissen scheint was es will — und uns mit Wahrscheinlichkeitsaussagen begnügen.

Oder aber wir fordern strenge Kausalität; die Quantenmechanik ist bereit dazu — das Schicksal ihrer mathematischen Symbole weist keinerlei Unbestimmtheit auf. Aber dafür müssen wir die Anschaulichkeit opfern, die Darstellung in Raum und Zeit. Heisenberg fand für diesen Sachverhalt ein kurzes Schema:

Klassische Physik	Quanten-Mechanik		
Anschaulichkeit (Raum und Zeit)	entweder Anschaulich	Statistische Zusammenhänge	oder Unanschaulich (Mathem. Schema)
Kausalität	Unschärfebeziehung		Kausalität

„Sie klingt gespenstisch, nicht wahr? Sehr geheimnisvoll."

„Ja, vielleicht; aber sie ist seit Andersons Beobachtung keine Theorie mehr. Ich habe hier ein Bild, auf dem Sie sehen, wie wirklich auf einmal, aus dem Nichts, das Höhenstrahlquant ein Elektron und ein Positron — eine Lücke — neu erzeugt, und wie sie nun beide, wegen ihrer verschiedenen Ladung durch das Magnetfeld nach verschiedenen Richtungen gekrümmt, mit großer Energie davonlaufen (Tafel 8).

Das neue Weltbild

Wir denken etwas anders über die Materie, über ihre ‚Wirklichkeit', als ihr da draußen! Ich sehe keine Schwierigkeit bei dem Gedanken, daß Energie verschwinden und Masse auftreten soll — oder daß sich die Masse in Energie auflöst. Gerade Diracs Vorgehen ist bezeichnend für die moderne Physik, für den grundlegenden Wandel unserer Denkart. Vor 1900 etwa hätte sich kein Physiker im Traum einfallen lassen, an negative Energie auch nur zu denken; genau so gut hätte er von einem ‚negativen Abstand' sprechen können: ‚Die Entfernung zwischen den beiden Bäumen dort beträgt minus vier Meter!' Eine Theorie mit solchen Resultaten wäre eben kurzerhand als falsch bezeichnet worden.

Heute sind wir vorsichtiger. Wir wissen, daß die klassische Physik bei den Versuchen gescheitert ist, die Mikrowelt der Atome in unser grobes alltägliches Schema einzuzwängen, sie in Begriffe wie Entfernung, Ort, Geschwindigkeit einzupassen, kurz, sie anschaulich zu begreifen. Bohrs Atommodell war der letzte tapfere Angriff, und Sie haben gesehen, wie er ganz unverständliche Zusatzforderungen erheben mußte. Um 1925 brach die Erfahrung durch, daß es unmöglich ist. Man wird dem Atom nicht mit Begriffsbildungen gerecht, die unserer Erfahrungswelt entlehnt sind, so wenig, wie man einer Uhrmacherarbeit mit Meißel und Vorschlag-

Welten. Wir haben verfolgt, wie die Beobachtung immer eine Störung bedeutet — eine unkontrollierbare Störung! Aber es ist fast ungeheuerlich, wie glatt die Zusammenfügung dennoch gelingt.

Vielleicht kann man noch weiter gehen und die Voraussage wagen, daß für das noch kleinere Gebiet des Atomkerns wieder eine neue Denkform notwendig sein muß — verschieden von der Quantenmechanik, die für das Atom als ganzes gilt. Vieles weist darauf hin . . .

Der Nichtphysiker denkt zu anschaulich — das ist es, was ihm das Verständnis der heutigen Physik so erschwert. Aber bis zu unserem Jahrhundert hat die gesamte Physik so anschaulich gedacht, und erst die letzte Zeit hat unseren Blick befreit, hat unseren Geist aus uralten Denkfesseln gelöst. Die Physik hat sich grundsätzlich umstellen müssen. Es scheint, daß der menschliche Anteil an der Naturerkenntnis sich nicht umgehen läßt; daß wir vielleicht niemals die Natur selbst erkennen werden, das, was allem zugrunde liegt, sondern nur unsere Kenntnis, unser Bild von der Natur; daß die Flecken auf unserer Brille unvermeidbar sind.

Jeder Versuch, ins Innere eines Atoms einzudringen und seinen Mechanismus zu sezieren, zerstört das, was wir untersuchen wollten: Das Arbeiten, das Funktionieren des Mechanismus — so wie jeder Versuch, dem Geheimnis des Lebens dadurch auf die Spur zu kommen, daß man ein Lebewesen bis ins einzelne seziert, bis zu seinen Atomen hinab, das Leben zerstört. Niels Bohr hat dem Gedanken Ausdruck verliehen, daß sich hinter dieser äußerlichen Analogie doch etwas mehr verbirgt. „In jedem Versuch an lebenden Organismen muß daher eine gewisse Unsicherheit bestehen bleiben — eine Unsicherheit in bezug auf die physikalischen Bedingungen, denen der Organismus unterworfen ist. Und es drängt sich der Gedanke auf, daß die geringste Freiheit, die wir in dieser Hinsicht den Organismen zugestehen müssen, gerade groß genug ist. Sie ermöglicht ihnen, ihre letzten Geheimnisse gewissermaßen vor uns zu verbergen. Von diesem Gesichtspunkt aus muß die

Anschaulichkeit und Kausalität liegen auf verschiedenen Waagschalen — wenn die eine steigt, fällt die andere oder, wie Jeans sagt, die beiden sind wie Mann und Frau im Wetterhäuschen; wir können nicht beide zugleich haben.

Man mag es als ein Wunder betrachten, daß der menschliche Geist ausreicht, das haarfeine mathematische Gespinst der Quantenmechanik zu erfinden und es dem Wesen der Dinge jener fremden Welt anzupassen, von der die Anschauung ausgeschlossen bleibt. Aber der Versuch war erfolgreich, unerhört erfolgreich. Von Eddington stammt das Wort: ‚Früher haben wir geglaubt, ein Ingenieur hätte die Welt erschaffen. Jetzt kommen wir mehr und mehr zu der Überzeugung, daß es ein Mathematiker gewesen ist.' Daher das neue, fest gegründete Vertrauen zur Mathematik. Daher auch Diracs Forderung: Wenn meine Theorie auf Grund ihrer mathematischen Struktur ‚negative Energie' fordert, so muß es so etwas geben, einerlei, ob ich es mir anschaulich vorstellen kann oder nicht.

Bohr und Heisenberg, die viel über diese Grundlagen der Quantenmechanik nachgedacht haben, bezeichnen die Sachlage so: Bei der Untersuchung atomarer Gebilde muß man einen Schnitt ziehen — einen Schnitt zwischen dem Gegenstand der Forschung (dem Atom) und dem Forscher selbst. Der Forscher, seine Apparate und die Fragen, die er stellt, sind anschaulich zu behandeln, gemäß der klassischen Physik, in Raum und Zeit. Das Atom aber, der Gegenstand der Forschung, läßt sich nur unanschaulich fassen, quantenmechanisch, als Gebilde aus mathematischen Wellenfunktionen, in einem mathematischen Raum. Beide Welten verlaufen streng kausal, nach Ursache und Wirkung. Die klassische Physik des Beobachters sowieso, aber auch die quantenmechanischen Gebilde sind eindeutig, stetig kausal zu behandeln. Erst durch das Zusammenfügen der beiden wesensverschiedenen Dinge, durch diesen Schnitt ergeben sich die Unsicherheiten: nur statistische Zusammenhänge bestehen zwischen den beiden

mechanischen Gesetzen hin- und hergestoßen, sind verschwunden. Mehr und mehr hat sich der schwere Stoff der Materie verflüchtigt, aus dem sie gebildet waren, dem sie verhaftet blieben. Elektrische Felder, schwingende Spannungen erfüllten den Raum und verdrängten die mechanischen Modelle. Und auch dies Bild zerrinnt im Licht der neuen Erkenntnis. Mathematische Symbole, Gebilde des Geistes bleiben allein zurück.

Der Forscher verstummte und sah mich nachdenklich an. Das Laboratorium mit seinen blitzenden Glasröhren, dem leisen, monotonen Summen der Pumpe und dem scharfen, bösen Knacken der elektrischen Entladungen wurde mir auf einmal unheimlich. Ich verließ den Raum.

Existenz des Lebens als eine Elementar-Tatsache aufgefaßt werden, für die keine nähere Begründung gegeben werden kann. Sie muß als Ausgangspunkt für die Biologie genommen werden; ähnlich wie im Reich des Materiellen das Planckische Wirkungsquantum h, — das vom Standpunkt der klassischen mechanischen Physik als ein irrationales Element, als unbegründbar erscheint — zusammen mit der Existenz der kleinsten Teilchen wie Elektron, Proton usw. die Grundlage der Atomphysik ausmacht.[1]

Und es scheint schließlich, als wenn sich diese Ähnlichkeit auch auf geistige Vorgänge erstreckt. Ich mag ein Gefühl grundlosen Übermuts empfinden, ein starkes, reines Gefühl. Urplötzlich werde ich mir dessen bewußt: „Du bist ja so vergnügt — warum?" und dies „Warum" leitet den Umschwung ein. Ich dringe mit der Sonde des Denkens, des bewußten, analysierenden Verstandes in das ursprüngliche Gefühl ein; vielleicht ergründe ich die Ursache — aber während dieses Prozesses hat sich das Schwergewicht meines Bewußtseins verlagert: Ich bin nun ein Psychologe, ein nachforschender, denkender Mensch — und nicht einfach mehr grundlos heiter. So mögen sich im Halbdunkel eines abendlichen Zimmers vor dem träumenden Auge Schatten und Formen bilden, aus einem zufällig hingeworfenen Kissen und der tiefen Höhlung eines Schranks entstehen geheimnisvolle Gestalten, ein fratzenhaftes, drohendes Gesicht scheint aufzutauchen oder eine düstere Berglandschaft. Urplötzlich springt meine Aufmerksamkeit auf diesen Punkt über, ich richte meinen Blick auf das sonderbare Gebilde, und es zerrinnt — Schatten und Helligkeit in den Falten eines Kissens — weiter nichts.

Man wird vielleicht in diesen eigentümlichen Parallelen von Materie, Leben und Geist etwas mehr sehen dürfen als einen Zufall. Jahrhunderte hindurch wurde die Welt als ein großes Uhrwerk betrachtet, mechanisches Spielzeug eines Gottes. Das Bild erwies sich als unzulänglich — es mußte verworfen werden. Die kleinen, starren, leblosen Kugeln, von unerbittlichen

ERKLÄRUNG DER TAFELN

Tafel 1: Spiralnebel NGC 3031 im Großen Bären S. 32

Entfernung rund 3 Millionen Lichtjahre, Aufnahme mit dem 2½-m-Spiegel der Mt.-Wilson-Sternwarte, Kalifornien. Jeder dieser Nebel ist eine ferne Milchstraße, eine Anhäufung von vielen Milliarden Sternen (Seite 232)

Tafel 2: Rotverschiebung

Spektralaufnahmen von vier Nebeln mit dem 2½-m-Spiegel; die Linse des Spektrographen hat eine Lichtstärke von F:0,6

Die waagerechten „Zeppeline" sind die Nebelspektren; die senkrechten schwarzen Striche darüber und darunter sind Helium-Linien, die zum Vergleich auf dieselbe Platte fotografiert werden. Auf die beiden Lücken am linken Ende der Spektren stützt sich die Beobachtung. Es sind die „Absorptionslinien" von Kalzium, H und K, die sich mit wachsender Geschwindigkeit nach rechts — nach rot — verschieben (Seite 236)

a) Himmel (Tageslicht), normale Lage von H und K

b) NGC 221. Eine Ausnahme: dieser — ziemlich nahe — Nebel scheint sich uns zu nähern, die Linien sind nach links verschoben. Geschwindigkeit — 185 km/sec

c) NGC 385, Geschwindigkeit + 4900 km/sec

d) NGC 4884, Geschwindigkeit + 6700 km/sec

e) Hellster Nebel im Löwen; Geschwindigkeit + 19700 km/sec

Tafel 3 1. Prismenspektrogramm von leuchtendem Eisendampf S. 8

Links rot, rechts violett. Der schwarze Querstrich unten rührt von einem Staubkorn im Spalt her. Ein mittlerer Apparat, der die beiden gelben Linien des Natriums (D_1 und D_2) mit einem Wellenlängen-Unterschied von 6/100000000 cm gerade noch deutlich trennt (Seite 246, 265)

2. Hyperfeinstruktur der Natriumlinien (Interferometer-aufnahme)

Die „Interferenzringe" entstehen hier durch vielfache Spiegelung an zwei parallelen, silberverspiegelten Glasplatten (Perot-Fabry-Interferometer).

ERKLÄRUNG DER TAFELN

Tafel 1: Spiralnebel NGC 3031 im Großen Bären S. 32

Entfernung rund 3 Millionen Lichtjahre, Aufnahme mit dem 2½-m-Spiegel der Mt.-Wilson-Sternwarte, Kalifornien. Jeder dieser Nebel ist eine ferne Milchstraße, eine Anhäufung von vielen Milliarden Sternen (Seite 232)

Tafel 2: Rotverschiebung

Spektralaufnahmen von vier Nebeln mit dem 2½-m-Spiegel; die Linse des Spektrographen hat eine Lichtstärke von F:0.6

Die waagerechten „Zeppeline" sind die Nebelspektren, die senkrechten schwarzen Striche darüber und darunter sind Helium-Linien, die zum Vergleich auf dieselbe Platte fotografiert werden. Auf die beiden Lücken am linken Ende der Spektren stützt sich die Beobachtung. Es sind die „Absorptionslinien" von Kalzium, H und K, die sich mit wachsender Geschwindigkeit nach rechts — nach rot — verschieben (Seite 236)

a) Himmel (Tageslicht), normale Lage von H und K

b) NGC 221. Eine Ausnahme: dieser — ziemlich nahe — Nebel scheint sich uns zu nähern, die Linien sind nach links verschoben. Geschwindigkeit — 185 km/sec

c) NGC 385, Geschwindigkeit + 4900 km/sec

d) NGC 4884, Geschwindigkeit + 6700 km/sec

e) Heller Nebel im Löwen; Geschwindigkeit + 19700 km/sec

Tafel 3: 1. Prismenspektrogramm von leuchtendem Eisendampf S

Links rot, rechts violett. Der schwarze Querstrich unten rührt von einem Staubkorn im Spalt her. Ein mittlerer Apparat, der die beiden gelben Linien des Natriums (D_1 und D_2) mit einem Wellenlängen-Unterschied von 6·10000000 cm gerade noch deutlich trennt (Seite 246, 265)

2. Hyperfeinstruktur der Natriumlinien (Interferometer-aufnahme)

Die „Interferenzringe" entstehen hier durch vielfache Spiegelung an zwei parallelen, silberverspiegelten Glasplatten (Perot-Fabry-Interferometer)

Der Einfluß des Atomkerns ist deutlich sichtbar: Jede der beiden D-Linien erscheint verdoppelt; die beiden dunklen inneren Kreise sind die beiden „Komponenten" von D_2, die beiden nächsten die von D_1; der schwache Kreis ganz innen rührt von Argon her. Nach außen zu wiederholt sich das Bild; die auf der Platte klar getrennten Komponenten von D_2 fallen allerdings in der Reproduktion in eine starke Linie zusammen. Der Wellenlängen-Unterschied der Komponenten von D_2 beträgt 2/10000000000 cm; der Abstand zwischen D_1 und D_2 wäre im gleichen Maßstab rund 30 cm; daß sie hier so dicht aneinander erscheinen, liegt an den Eigenschaften des Interferometers (Seite 265)

3. Ein 5-m-Spiegel für die Mt.-Wilson-Sternwarte im Bau

Der 5-m-Spiegel soll noch weiter entfernte Spiralnebel als bisher sichtbar machen, trotz aller Sorgfalt scheint der Guß aber mißlungen zu sein — es heißt, daß sich Schlackstücke von der Form gelöst hätten. Jahrelange Arbeit wäre damit umsonst (Seite 232)

Tafel 4. Elektronenwellen

1. Die schwarzen Punkte (Lauediagramm) entstehen beim Durchstrahlen eines einzigen, wohl ausgebildeten Kristalls. Das Elektronenbild stammt von einem Glimmerkristall, diese Versuchsanordnung entspricht dem Davisson-Versuch (Seite 171, 295)

2. Bei der Durchstrahlung einer Metallfolie, die nicht aus einem einzigen Kristall, sondern aus vielen kleinen „Kristalliten" besteht, bilden sich diese Beugungsringe (Debye-Scherrer Methode)

Mit ihrer Hilfe konnte Prof. G. P. Thomson den ersten fotografischen Nachweis der Elektronenwellen bringen. Davisson Germer hatten eine etwas andere Methode zum Nachweis der Beugung gewählt. (Seite 171, 295)

Tafel 5. Die fortschreitende Zerstörung einer Glühkathode

Eine Aufnahme, die nur mit dem Elektronenmikroskop möglich war. Sie zeigt die Veränderung einer überheizten Glühkathode im Betrieb, die Linien sind ein aufgerichtetes Strichnetz. Von den hellen Punkten gehen die Elektronen aus. Man sieht, wie sie sich beim Fortschreiten der Zerstörung immer mehr in den Strichen versammeln (Seite [illegible])

Tafel 6. Atomzertrümmerungs-Laboratorium von Cockcroft und Walton in Cambridge

Der Glaszylinder vorn rechts ist das eigentliche Entladungsrohr, in dem die Protonen durch Felder von 100000 bis [illegible] Volt gejagt werden,

sie treten unten mit sehr hoher Geschwindigkeit aus dem Rohr und prallen auf die Zielscheibe (im Inneren des tücherverhangenen Kastens). Im Hintergrund die Meßfunkenstrecke: Je höher die Spannung, desto größer kann der Abstand beider Kugeln sein, der noch durch einen gewaltigen Funken überschlagen wird. Ganz hinten J. D. Cockroft (Seite 318)

Tafel 7: Atomzertrümmerung

S. 282

1. Stickstoffzertrümmerung durch Alphateilchen; der erste fotografische Nachweis der Atomzertrümmerung (Mitte). Ein Alphateil ist in den Stickstoffkern eingedrungen; ein Wasserstoffkern wird mit hoher Energie hinausgeschleudert und zeichnet die dünne, quer nach rechts unten verlaufende Spur. Auch die Bahn des Restkerns ist noch ein Stück weiter zu verfolgen. Die Gabelungen und Knicke an den Enden der anderen Bahnen bedeuten harmlose Zusammenstöße (Seite 314)

2. Der in Cambridge ist es gelungen, den Geschoßhagel der Cockroftschen Anordnung direkt in die Nebelkammer zu leiten. Schwerer Wasserstoff bricht bei Beschießung mit schwerem Wasserstoff in leichten Wasserstoff (H^1) und einen neuen, noch schwereren Wasserstoff (H^3 oder T^3) auseinander, die nach entgegengesetzten Richtungen fortgeschleudert werden. Die einsame Spur oben entstand durch den Zusammenprall eines Neutrons mit einem Gasatom. Auch Kirchner in München hat solche Aufnahmen erhalten.

Tafel 8: Neuerscheinungen

Neutron. Alphastrahlen — der „Fächer" unten — haben aus einer Berylliumschicht (der weiße Querstrich unten) Neutronen ausgelöst, die unsichtbar durch die Kammer laufen. Zwei von diesen haben aus dem Paraffinzylinder in der Mitte einen Wasserstoffstrahl herausgeschossen. Man sieht, daß kein einziger α-Strahl bis dorthin gelangt ist und für diesen Befreiungsprozeß verantwortlich gemacht werden könnte (Seite 327)

Positron. Eine selten schöne Aufnahme eines positiven und negativen Elektrons aus einer Blei-Zielscheibe. Energie beider Teilchen rund 0,5 Millionen Volt. Richtung des Magnetfeldes senkrecht zur Bildebene. Der Auslösungsprozeß ist etwas kompliziert: Kalziumfluorid wird außerhalb der Kammer mit Polonium-α-Strahlen beschossen. Die dabei entstehenden Neutronen lösen wahrscheinlich im Blei eine γ-Strahlung aus, welche das Elektronenpaar erzeugt (Seite 332)

Erklärung der Tafeln

Der Einfluß des Atomkerns ist deutlich sichtbar: Jede der beiden D-Linien erscheint verdoppelt; die beiden dunklen inneren Kreise sind die beiden „Komponenten“ von D_1, die beiden nächsten die von D_2; der [illegible] Kreis ganz innen rührt von Argon her. Nach außen [illegible] wiederholt sich das Bild; die auf der Platte klar getrennten Komponenten von D_2 [illegible] allerdings in der Reproduktion zu eine starke Linie zusammen. Der Wellenlängen-Unterschied der Komponenten von D_2 beträgt 2/10000000000 m, der Abstand zwischen D_1 und D_2 wäre im gleichen Maßstab rund 30 m, daß sie hier so dicht aneinander erscheinen, liegt an den Eigenschaften des Interferometers (Seite 285)

3. Ein 5-m-Spiegel für die Mt.-Wilson-Sternwarte in [illegible]

Der 5-m-Spiegel soll noch weiter entfernte Spiralnebel als [illegible] machen; trotz aller Sorgfalt scheint der Guß aber [illegible] – es heißt, daß sich Schlackstücke von der Form gelöst hätten. [illegible] Arbeit wäre damit umsonst (Seite 232)

Tafel 4: Elektronenwellen

1. Die schwarzen Punkte (Lauediagramm) entstehen beim [illegible] eines einzigen, wohl ausgebildeten Kristalls. Das [illegible] von einem Glimmerkristall; diese Versuchsanordnung [illegible] Davisson-Versuch (Seite 171, 295)

2. Bei der Durchstrahlung einer Metallfolie, die nicht aus einem [illegible] Kristall, sondern aus vielen kleinen „Kristalliten“ besteht, bilden sich [illegible] Beugungsringe (Debye-Scherrer-Methode)
Mit ihrer Hilfe konnte Prof. G. P. Thomson den ersten [illegible] Nachweis der Elektronenwellen bringen, Davisson Germer [illegible] etwas andere Methode zum Nachweis der Beugung gewählt (Seite [illegible])

Tafel 5: Die fortschreitende Zerstörung einer Glühkathode

Eine Aufnahme, die nur mit dem Elektronenmikroskop möglich [illegible] zeigt die Veränderung einer überheizten Glühkathode im [illegible], [illegible] Linien sind ein aufgerichtetes Strichnetz. Von den hellen Punkten gehen die Elektronen aus. Man sieht, wie sie sich beim Fortschreiten der [illegible] immer mehr in den Strichen versammeln (Seite 297)

Tafel 6: Atomzertrümmerungs-Laboratorium von [illegible] und Walton in Cambridge

Der Glaszylinder vorn rechts ist das eigentliche [illegible] [illegible] Felder von 100000 bis 600000 Volt [illegible]

sie treten unten mit sehr hoher Geschwindigkeit aus dem Rohr und prallen auf die Zielscheibe (im Inneren des tücherverhangenen Kastens). Im Hintergrund die Meßfunkenstrecke: Je höher die Spannung, desto größer kann der Abstand beider Kugeln sein, der noch durch einen gewaltigen Funken überschlagen wird. Ganz hinten J. D. Cockroft (Seite 318)

Tafel 7: Atomzertrümmerung

S. 288

1. Stickstoffzertrümmerung durch Alphateilchen; der erste fotografische Nachweis der Atomzertrümmerung (Mitte). Ein Alphateil ist in den Stickstoffkern eingedrungen; ein Wasserstoffkern wird mit hoher Energie hinausgeschleudert und zeichnet die dünne, quer nach rechts unten verlaufende Spur. Auch die Bahn des Restkerns ist noch ein Stück weiter zu verfolgen. Die Gabelungen und Knicke an den Enden der anderen Bahnen bedeuten harmlose Zusammenstöße (Seite 314)

2 Der in Cambridge ist es gelungen, den Geschoßhagel der Cockroftischen Anordnung direkt in die Nebelkammer zu leiten. Schwerer Wasserstoff bricht bei Beschießung mit schwerem Wasserstoff in leichten Wasserstoff (H^1) und einen neuen, noch schwereren Wasserstoff (H^3 oder T^3) auseinander, die nach entgegengesetzten Richtungen fortgeschleudert werden. Die einsame Spur oben entstand durch den Zusammenprall eines Neutrons mit einem Gasatom. Auch Kirchner in München hat solche Aufnahmen erhalten.

Tafel 8. Neuerscheinungen

Neutron. Alphastrahlen — der „Fächer" unten — haben aus einer Berylliumschicht (der weiße Querstrich unten) Neutronen ausgelöst, die unsichtbar durch die Kammer laufen. Zwei von diesen haben aus dem Paraffinzylinder in der Mitte einen Wasserstoffstrahl herausgeschossen. Man sieht, daß kein einziger α-Strahl bis dorthin gelangt ist und für diesen Befreiungsprozeß verantwortlich gemacht werden könnte (Seite 327)

Positron. Eine selten schöne Aufnahme eines positiven und negativen Elektrons aus einer Blei-Zielscheibe. Energie beider Teilchen rund 0,5 Millionen Volt. Richtung des Magnetfeldes senkrecht zur Bildebene. Der Auslösungsprozeß ist etwas kompliziert: Kalziumfluorid wird außerhalb der Kammer mit Polonium-α-Strahlen beschossen. Die dabei entstehenden Neutronen lösen wahrscheinlich im Blei eine γ-Strahlung aus, welche das Elektronenpaar erzeugt (Seite 332)

Erklärung der Tafeln

Der Einfluß des Atomkerns ist deutlich sichtbar: Jede der beiden D-Linien erscheint verdoppelt; die beiden dunklen inneren Kreise sind die beiden „Komponenten" von D_2, die beiden nächsten die von D_1; der schwache Kreis ganz innen rührt von Argon her. Nach außen zu wiederholt sich das Bild; die auf der Platte klar getrennten Komponenten von D_1 fallen allerdings in der Reproduktion in eine starke Linie zusammen. Der Wellenlängen-Unterschied der Komponenten von D_2 beträgt 2/1000000000 cm; der Abstand zwischen D_1 und D_2 wäre im gleichen Maßstab rund 30 cm; daß sie hier so dicht aneinander erscheinen, liegt an den Eigenschaften des Interferometers (Seite 265)

3. Ein 5-m-Spiegel für die Mt.-Wilson-Sternwarte im Bau

Der 5-m-Spiegel soll noch weiter entfernte Spiralnebel als bisher sichtbar machen, trotz aller Sorgfalt scheint der Guß aber mißlungen zu sein — es heißt, daß sich Schlackstücke von der Form gelöst hätten. Jahrelange Arbeit wäre damit umsonst (Seite 232)

Tafel 4 Elektronenwellen

1. Die schwarzen Punkte (Lauediagramm) entstehen beim Durchstrahlen eines einzigen, wohl ausgebildeten Kristalls. Das Elektronenbild stammt von einem Glimmerkristall, diese Versuchsanordnung entspricht dem Davisson-Versuch (Seite 171, 295)

2. Bei der Durchstrahlung einer Metallfolie, die nicht aus einem einzigen Kristall, sondern aus vielen kleinen „Kristalliten" besteht, bilden sich diese Beugungsringe (Debye-Scherrer-Methode)

Mit ihrer Hilfe konnte Prof. G. P. Thomson den ersten fotografischen Nachweis der Elektronenwellen bringen. Davisson-Germer hatten eine etwas andere Methode zum Nachweis der Beugung gewählt (Seite 171, 295)

Tafel 5 Die fortschreitende Zerstörung einer Glühkathode

Eine Aufnahme, die nur mit dem Elektronenmikroskop möglich war. Sie zeigt die Veränderung einer überheizten Glühkathode im Betrieb. Die Linien sind ein aufgerichtetes Strichnetz. Von den hellen Punkten gehen die Elektronen aus. Man sieht, wie sie sich beim Fortschreiten der Zerstörung immer mehr in den Strichen versammeln (Seite [illegible])

Tafel 6 Atomzertrümmerungs-Laboratorium von Cockcroft und Walton in Cambridge

Der Glaszylinder vorn rechts ist das eigentliche Entladungsrohr, in dem die Protonen durch Felder von 100000 bis [illegible] Volt gejagt werden,

SACHREGISTER

A

L

P

Qu

R

Y

Z

Früher erschien von

PAUL KARLSON

Segler durch Wind und Wolken

Ein Abenteuerbuch der Segelfliegerei

Von Hirth, Grönhoff, Kronfeld, Schmidt und von andern Segelfliegern erzählt Karlson.

„Dieses Buch kann man zu den besten zählen, was je über den Segelflugsport geschrieben worden ist."

Badische Presse

„ . . . Wer von euch noch nicht für diesen herrlichen Sport begeistert ist, der wird sicherlich durch dieses Buch Lust bekommen, ein Segelflieger zu werden. Der Verfasser schildert uns nicht langweilig die Entwicklungsstufen des Segelfliegers, vom Gleitflug über die A-, B- und C-Prüfung zum ersten Start mit dem Hochleistungssegelflugzeug, sondern er versetzt uns gleich mitten hinein in das lustige Fliegerlager in der Rhön, wo die prächtigen braungebrannten Jungs in der Sonne liegen und auf Segelwind warten . . . Lest es selbst, Kameraden — ihr lernt darin ‚Kerle' kennen, die uns Vorbild sein können . . ."

Reichssender, Leipzig

*

Bebilderte Volksausgabe

in Ganzleinen für 2 Mark 85, kartoniert 2 Mark

H. W. VAN LOON

Du und die Erde

Eine Geographie für jedermann

Eine fröhliche Universalfibel der Geographie, spannend wie ein phantasievoller Roman und über und über von van Loon selber bebildert.

„Zum erstenmal wird Geschick und Gesicht der Erde zum aufregenden Erlebnis! Van Loon hat mehr für die Kenntnis der Erde getan als irgendein Mensch vor ihm." Reclams Universum, Leipzig

„Das Buch besitzt den Reiz der Originalität und zeigt interessante Perspektiven. Es plaudert anregend über tausenderlei wissenswerte und geographische Dinge und ermöglicht es dem Nichtwissenschaftler, sich über das Antlitz der Erde und dessen Entstehung und Umwandlung durch die Tätigkeit des Menschen klar zu werden. Wenn auch namentlich in wirtschaftspolitischer Hinsicht nicht jede der vom Verfasser vertretenen Auffassung unterschrieben werden kann, so ist doch zugegeben, daß er es versteht, mit kurzer geschickter Strichführung viel Wesentliches über die einzelnen Länder der Erde und ihre geschichtlich-geographischen Daseinsbedingungen zu sagen." Vogtländischer Anzeiger, Plauen

*

446 Seiten, 106 zum Teil farbige Tafeln. Broschiert 6 Mark 75, in Ganzleinen 8 Mark 75